

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Geografie
Fyzická geografie a geoinformatika



Jakub Ležík

**GEOEKOLOGICKÉ PREFERENCE A KONEKTIVITA HABITATŮ LEVHARTA
SNĚŽNÉHO V NEPÁLU**

Geoecological preferences and habitat connectivity of snow leopard in Nepal

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Dušan Romportl, Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Hradci Králové, 7.5.2016

Jakub Ležík

Poděkování:

Chtěl bych zde poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Dušanu Romportlovi, Ph.D. za obětavou pomoc a cenné rady při zpracovávání bakalářské práce.

Zadání bakalářské práce

Název práce

Geoekologické preference a konektivita habitatů levharta sněžného v Nepálu

Geoeological preferences and habitat connectivity of snow leopard in Nepal

Klíčová slova

habitatové modelování - konektivita habitatů - resistance krajiny - levhart sněžný

habitat modelling - habitat connectivity - landscape resistance – snow leopard

Cíle práce

- Rešerše problematiky hodnocení habitatových a prostorových nároků
- Rešerše hodnocení konektivity habitatů a resistance krajiny ve vztahu k výskytu a šíření levharta sněžného
- Charakteristika relevantních faktorů prostředí Nepálu, zhodnocení habitatových nároků levharta sněžného
- Analýza konektivity krajiny Nepálu z pohledu levharta sněžného s důrazem na propojení klíčových oblastí výskytu (NP Annapurna, NP Langtang, NP Sagarmatha)

Objectives of the thesis

- Review of problematics of habitat preferences and spatial requirements
- Review of evaluation of habitat connectivity and landscape resistance in relation to presence and dispersion of snow leopard
- Characteristics of relevant factors of Nepalese environment, evaluation of habitat requirements of snow leopard
- Analysis of connectivity of Nepal landscape for snow leopard, according to interconnection of key areas of presence (NP Annapurna, NP Langtang, NP Sagarmatha)

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Rešerše problematiky hodnocení habitatových a prostorových nároků, konektivity habitatů a resistance krajiny ve vztahu k výskytu a šíření levharta sněžného v Nepálu. Charakteristika relevantních faktorů prostředí Nepálu, zhodnocení habitatových nároků levharta sněžného – charakteristiky reliéfu (zdroj SRTM DEM), klimatu (Worldclim, CliMond), přítomnost přírodních habitatů (GlobCover, Global Land Cover 30), stupeň antropogenní transformace krajiny (Ramankutty et al. 2012), míra fragmentace osídlením a infrastrukturou atd.). Analýza prostupnosti krajiny Nepálu z pohledu levharta sněžného s důrazem na propojení klíčových oblastí výskytu (NP Annapurna, NP Langtang, NP Sagarmatha). K analýze rezistence a konektivity krajiny bude použit nástroj CIRCUITSCAPE, resp. Linkage Mapper.

Working methods, area of interest, data sources

Review of problematics of habitat preferences and space requirements, habitat connectivity a landscape resistance in relation to presence and dispersion of snow leopard in Nepal. Characteristics of relevant factors of Nepal environment, evaluation of habitat requirements of snow leopard – topography characteristics (source SRTM DEM), climate (Worldclim, CliMond), presence of natural habitats (Globcover, Global Land Cover 30), level of anthropogenic transformation of landscape (Ramankutty et al. 2012), level of habitat fragmentation by settlement and infrastructure etc. Analysis of permeability of Nepal landscape for snow leopard, according to interconnection of key areas of presence (NP Annapurna, NP Langtang, NP Sagarmatha). For analysis of resistance and connectivity of Nepalese landscape the CIRCUITSCAPE tool, resp. Linkage Mapper will be used.

Datum zadání:

30.10.2015

Podpis studenta

Jakub Ležík

Podpis vedoucího práce

RNDr. Dušan Romportl, Ph.D.

Podpis vedoucího katedry

Geoeckologické preference a konektivita habitatů levharta sněžného v Nepálu

Abstrakt

Levhart sněžný (*Panthera uncia*) je ohrožený druh kočkovité šelmy žijící ve velehorách centrální Asie. Jeho životní prostor je ohrožován globálními klimatickými změnami i narůstajícím antropogenním tlakem. Je proto důležité podnikat kroky vedoucí k jeho ochraně, k čemuž patří i pochopení jeho habitatových nároků a vymezení vhodných stanovišť pro jeho život. Tato bakalářská práce se ve své rešeršní části zabývá problematikou hodnocení habitatových nároků různých druhů organismů a dále shrnuje známá fakta o levhartu sněžném a obsahuje charakteristiku prostředí velehorské části Nepálu. Ze získaných nálezových dat levharta sněžného byl vytvořen model potenciálního rozšíření levharta v Nepálu a také byla zhodnocena úroveň propustnosti nepálské krajiny pro jeho pohyb.

Klíčová slova

habitatové modelování - konektivita habitatů - resistance krajiny - levhart sněžný

Geoeckological preferences and habitat connectivity of snow leopard in Nepal

Abstract

The snow leopard (*Panthera uncia*) is endangered species of the *Felidae* family living in high mountains of central Asia. Its habitat is threatened by global climatic changes and increasing antropogennic pressure. Therefore is important to make steps leading to leopard's conservation, which includes understanding its habitat requirements and defining suitable areas for its life. This bachelor thesis deals in its review part with problematics of assessing habitat requirements of different species of organisms and further summarizes known facts about snow leopard and includes also characteristics of environment of mountainous part of Nepal. From gained presence records of snow leopard was created a model of potential distribution of leopard in Nepal and also was evaluated the level of permeability of Nepalese landscape for its movement.

Keywords

habitat modelling - habitat connectivity - landscape resistance – snow leopard

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	7
1. Úvod	8
2. Hodnocení habitatových nároků	9
2.1 Vnější vlivy prostředí.....	9
2.2 Monitorování výskytu a pohybu jedinců	11
2.3 Hodnocení habitatových nároků.....	12
3. Levhart sněžný	13
3.1 Biologie.....	13
3.2 Ekologie.....	13
3.2.1 Chování	13
3.2.2 Potrava	14
3.2.3 Habitatové nároky	14
3.3 Rozšíření	15
3.4 Ohrožení a ochrana	16
3.4.1 Hrozby	16
3.4.2 Ochrana	17
3.4.3 Chov v zajetí	17
4. Charakteristika prostředí Nepálu	18
4.1 Vymezení zájmového území	18
4.2 Fyzickogeografická charakteristika	19
4.2.1 Geologie a reliéf.....	19
4.2.2 Klima	19
4.2.3 Hydrologie a zalednění	20
4.2.4 Fauna a flóra.....	21
4.3 Vliv člověka	22
4.3.1 Turismus.....	23
4.3.2 Ochrana přírody	24
5. Metodika	26
5.1 Použitá data	26
5.2 Postup	29
6. Analýza konektivity krajiny Nepálu z pohledu levharta sněžného	30
6.1 Habitatové nároky a potenciální distribuce.....	30
6.2 Konektivita jádrových oblastí	32
7. Diskuze.....	34
8. Závěr	36
Použitá literatura	37
Přílohy	41

Seznam obrázků a tabulek

Obr.1: Zdroje a faktory prostředí	9
Obr.2: Vliv intenzity faktorů na organismus.	10
Obr.3: Rozšíření levharta sněžného.....	15
Obr.4: Vymezení zájmového území	18
Obr.5: Srovnání průměrných měsíčních teplot a srážek ve městech Káthmándú, Pokhara a v okolí vybraných fotopastí.....	20
Obr.6: Průměrné měsíční průtoky řeky Kali Gandaki v roce 1968 u Sétibení	21
Obr.7: Vývoj počtu turistů směřujících do Nepálu v letech 1964 – 2014	24
Obr.8: Chráněná území v oblasti	25
Obr.9: Nadmořská výška a průměrné roční srážky v oblasti.....	26
Obr.10: Průměrná roční teplota a rozpětí teplot v oblasti	27
Obr.11: Krajinový pokryv v oblasti	27
Obr.12: Vzdálenost od silnic a vzdálenost od lidských sídel v oblasti.....	28
Obr.13: Přehledná mapa oblastí, kde byl sledován výskyt levharta sněžného	28
Obr.14: Index vhodnosti habitatu (HSI) pro levharta sněžného	30
Obr.15: Odpovědní křivky (ROC) na jednotlivé environmentální proměnné	31
Obr.16: Odpovědní křivky (ROC) na jednotlivé environmentální proměnné	32
Obr.17: Migrační koridory	33
Tab.1: Vegetační výškové stupně centrálního Nepálu.....	22
Tab.2: Charakteristika nejvhodnějších oblastí pro výskyt levharta sněžného	31
Příloha 1: Mapa nadmořských výšek v oblasti	41
Příloha 2: Mapa průměrných ročních srážek v oblasti.....	42
Příloha 3: Mapa průměrné roční teploty v oblasti	43
Příloha 4: Mapa krajinového pokryvu v oblasti	44
Příloha 5: Index HSI pro levharta sněžného	45
Příloha 6: Migrační koridory nejmenších nákladů	46
Příloha 7: Délka a prostupnost cest nejmenších nákladů.....	47

1. Úvod

Pro efektivní ochranu jakéhokoli ohroženého druhu je nezbytné detailně poznat jeho nároky na životní prostředí, aby bylo možné mj. vymezit vhodná chráněná území. Jedná se o komplikovaný proces, jelikož podmínky prostředí ovlivňuje velké množství vzájemně provázaných proměnných, jako například abiotické faktory, mezidruhov \acute{y} vztahy a působení člověka. Rozvoj GIS technologií v posledních letech tuto úlohu výrazně zjednodušil a zdokonalil. Pomocí habitatových modelů lze matematicky definovat potřebné podmínky pro život určitého druhu a lépe tak pochopit jeho ekologii.

Sněžný levhart (*Panthera uncia*) je vrcholovým predátorem v himálajské oblasti. Je ohrožen především narůstajícím antropogenním tlakem ze strany místních obyvatel, kteří ho loví kvůli predaci dobytka. Hospodářské zvířectvo také konkuruje divokým kopytníkům, kteří tvoří hlavní složku potravy levharta sněžného. V neposlední řadě je levhart ohrožen ilegálním lovem, přičemž různé části jeho těla jsou využívány v tradiční asijské medicíně. Pro zachování životaschopné populace levharta sněžného je třeba v dotyčných zemích především přijmout patřičné zákony na jeho ochranu, vyhlásit chráněná území a pracovat na osvětě místních obyvatel. Je také důležité zajistit možnost komunikace mezi jednotlivými lokálními populacemi.

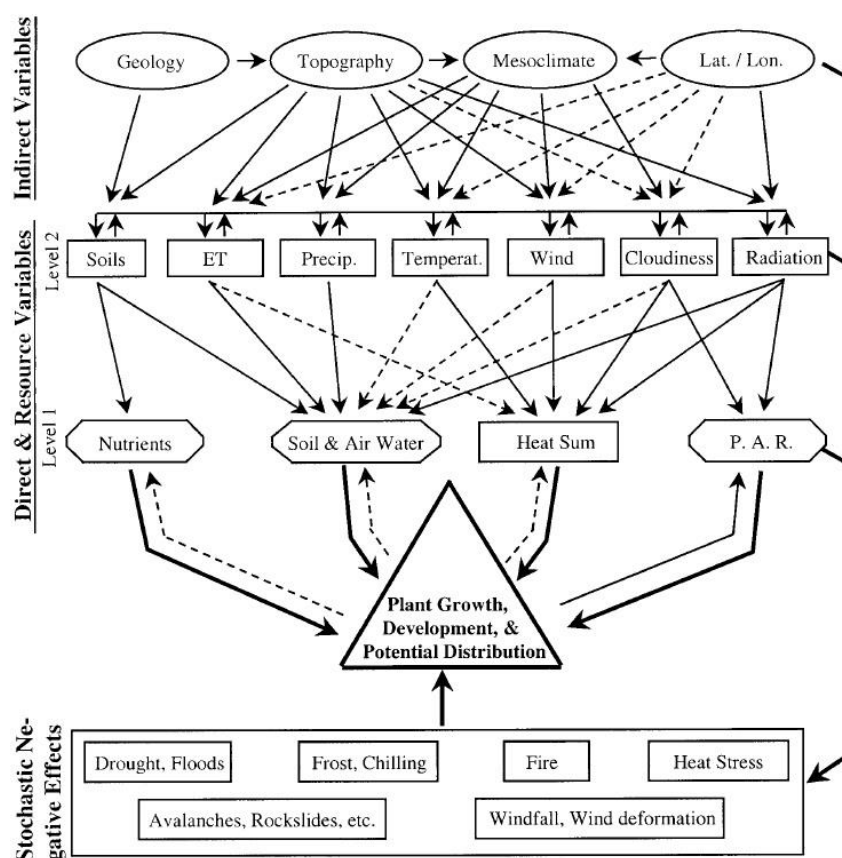
Hlavním cílem této práce je pomocí modelu druhové distribuce (SDM) definovat oblasti vhodné pro výskyt levharta sněžného na území Nepálu. Zároveň byla provedena analýza konektivity mezi třemi oblastmi výskytu levharta v Nepálu – NP Sagarmatha a Upper Manang a Lower Mustang v chráněném území Annapurna. V úvodních kapitolách práce je provedena rešerše na téma způsobů hodnocení habitatových nároků a také jsou shrnuty základní informace o levhartu sněžném. Následuje charakteristika zájmového území a postup modelování. Práce je završena interpretací výstupu analýzy konektivity krajiny Nepálu z pohledu levharta sněžného a diskuzí dosažených výsledků.

2. Hodnocení habitatových nároků

K posuzování habitatových nároků jednotlivých druhů organismů se využívají biogeografické modely, které různými korelačními metodami popisují závislost výskytu či absence jedinců na environmentálních proměnných (Elith a Graham 2009). Pochopení vztahů mezi organismem a prostředím je velmi důležité z hlediska vysvětlení chování organismu a jeho případné ochrany. Úlohou geografie v modelování habitatových nároků je zejména zajistit kvalitní data popisující prostředí a zabývat se možnostmi monitoringu výskytu sledovaného druhu.

2.1 Vnější vlivy prostředí

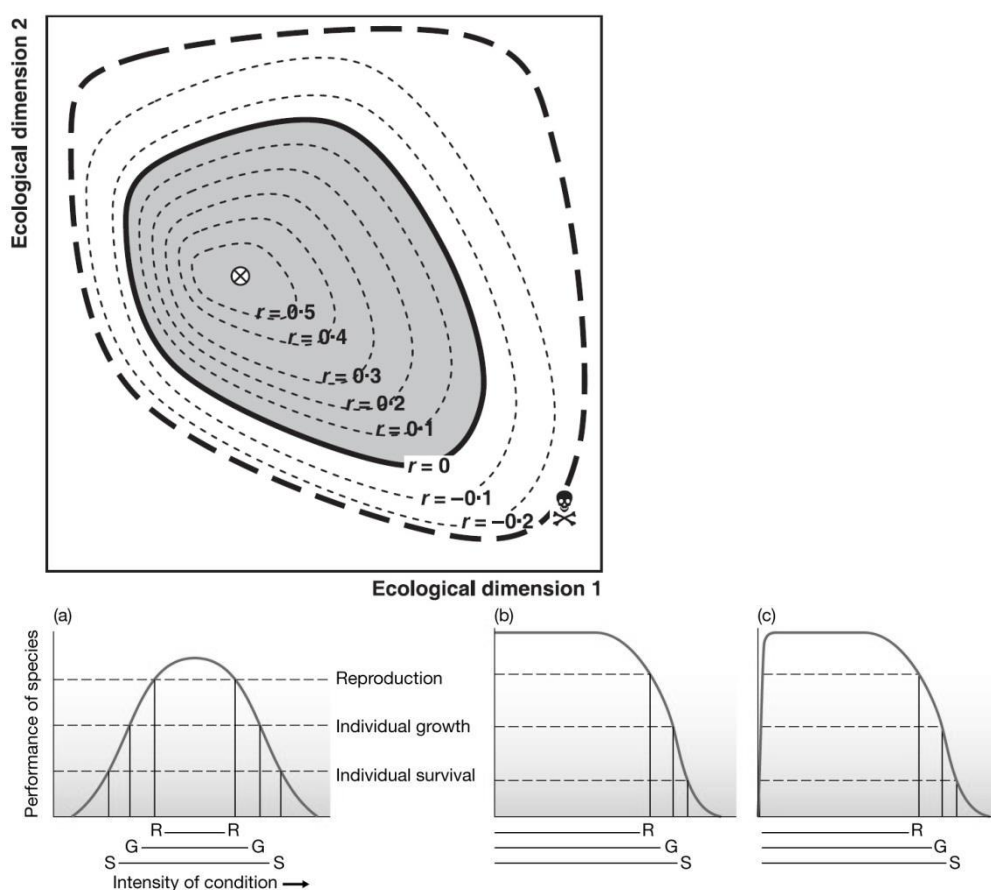
Pro výskyt životaschopné populace na určitém stanovišti (bez vlivu imigrace) je nezbytné, aby toto místo splňovalo všechny nároky vyjádřené potenciální ekologickou nikou daného druhu (Hirzel a Le Lay 2008). Na podmínky na konkrétní lokalitě má vždy vliv velké množství faktorů, které se ovlivňují i mezi sebou navzájem, jak je patrné na obrázku 1 (Guisan a Zimmermann 2000).



Obr.1: Zdroje a faktory prostředí

Zdroj: Guisan a Zimmermann 2000

Lze je rozdělit na faktory prostředí a zdroje. Faktory prostředí jsou takové vlastnosti, které mají na organismy fyziologický vliv, některé z nich jimi mohou být zpětně ovlivňovány, ale nejsou organismy spotřebovávány. Jedná se například o teplotu, srážky, reliéf atd.. Faktory lze dále dělit na přímé a nepřímé faktory (Townsend et al. 2010, Guisan a Zimmermann 2000). Intenzita každého faktoru se může na fitness jedince projevit třemi různými způsoby, jak je patrné na obrázku 2. Buď mohou být pro organismus letální oba extrémů (a), nebo pouze vysoká intenzita faktoru (b), nebo může být nízká nenulová intenzita faktoru pro organismus nezbytná, ale vysoká intenzita smrtící (c). Hranici S na dolním obrázku odpovídá na horním obrázku tučná přerušovaná linie. Za touto hranicí není jedinec schopen přežít. Hranici R na dolním obrázku odpovídá tučná nepřerušovaná linie. Nad touto hranicí je organismus schopen se rozmnožovat. Veličina r na horním obrázku značí rychlost růstu populace (Hirzel a Le Lay 2008, Townsend et al. 2010).



Obr.2: Vliv intenzity faktorů na organismus.

Zdroj: Hirzel a Le Lay 2008, Townsend et al 2010

Druhou hlavní kategorií vlivů jsou zdroje. Zdroje jsou komodity, které organismy přímo spotřebovávají. Zdroje se výrazně liší mezi autotrofními a heterotrofními organismy (Townsend et al. 2010, Guisan a Zimmermann 2010).

Vedle těchto přírodních vlivů se na distribuci organismů výrazně podílejí i antropogenní faktory.

Vlivy prostředí lze pro použití v modelech rozčlenit do několika hlavních kategorií (Donovan et al. 2011, Bucklin et al. 2014):

- 1) Reliéf – nadmořská výška, sklon a orientace svahu, členitost reliéfu, pozice v reliéfu
- 2) Bioklimatické vlivy – průměrná roční teplota a srážky, maximální a minimální průměrné měsíční teploty a srážky, sezonalita klimatu
- 3) Antropogenní vlivy – hustota osídlení, vzdálenost od komunikací
- 4) Krajinový pokryv
- 5) Extrémní meteorologické jevy

Určení, zda se na určitém stanovišti může daný druh vyskytovat, je však složitější záležitostí. Splnění všech nároků vyjádřených potenciální ekologickou nikou je jen jednou z podmínek. Druhou podmínkou je schopnost druhu obstát v interakci s ostatními druhy vyskytujícími se na stanovišti a třetí podmínkou je možnost se na stanoviště dostat, což závisí na migračních schopnostech druhu (Hirzel a Le Lay 2008). Zároveň první a druhá podmínka nemusí být vždy zcela splněny, pokud se jedná o jednu subpopulaci v rámci metapopulace, která je udržována díky imigraci ze zdrojové populace (Townsend et al. 2010).

2.2 Monitorování výskytu a pohybu jedinců

Pro zjišťování habitatových nároků je důležité také monitorovat výskyt a pohyb jedinců v krajině, aby bylo možné zjistit, jaké habitaty upřednostňují. K tomu slouží široká škála metod, jejichž použití záleží na sledovaném druhu. Jedná se například o přímá pozorování, detekci po hlase, odchyt do pastí, stopy a jiné pobytové znaky, fotopasti a telemetrické obojky (Guisan a Zimmermann 2000).

Pohyb jedinců lze zjišťovat nejlépe pomocí GPS obojků, jelikož ty mohou poskytnout téměř nepřetržitý záznam o přesném pohybu jedince krajinou. Tato data mohou sloužit i ke stanovení velikosti teritoria. Pohyb lze zaznamenat i opakovanou detekcí jednoho jedince na různých místech, ačkoli takový způsob neposkytuje

informaci o přesné trase jedince mezi jednotlivými lokalitami. Pro zaznamenání pohybu v dlouhém časovém měřítku, například komunikaci mezi populacemi, lze použít genetická data pro zjištění příbuznosti (Cushman et al. 2013, Donovan et al. 2011).

2.3 Hodnocení habitatových nároků

Vyjádření habitatových nároků jednotlivých druhů se v současnosti provádí za využití GIS metod. Do analýzy vstupují dvě kategorie dat – data o výskytu jedinců a data popisující podmínky prostředí, přičemž cílem je nalézt funkci vystihující vztah mezi těmito daty (Hirzel a Le Lay 2008, Donovan et al. 2011). Při posuzování habitatových nároků je třeba zohlednit i ekologii sledovaného druhu. U málo pohyblivých druhů s malým domovským okrskem, který je možno považovat za homogenní, lze analýzu provést bodově. Habitat druhů s velkým teritoriem je však heterogenní a nelze ho v celém rozsahu popsat jednou hodnotou či kategorií podmínek prostředí. Navíc využití jednotlivých částí teritoria se může lišit (Donovan et al. 2011). V takových případech je třeba použít velké množství náleзовých dat (nejlépe z GPS zařízení s pravidelným časovým rozestupem), ze kterých je pomocí jádrové analýzy domovského okrsku (*kernel home range analysis*) stanoven rozsah teritoria každého sledovaného jedince a hustota pravděpodobnosti využití jeho jednotlivých částí (*utilization distribution, UD*). Následně je za využití modelu zjišťována funkce popisující vztah mezi tímto rastrem hustoty pravděpodobnosti a jednotlivými daty charakterizujícími prostředí (Marzluff et al. 2004, Donovan et al. 2011). V současnosti existuje velké množství různých modelů, založených převážně na regresi (GLM, GAM, BRT, CART), nebo strojovém učení (Maxent, GARP) (Elith a Graham 2009). Zprůměrováním koeficientů rovnic získaných pro každého sledovaného jedince je stanovena funkce popisující habitatové nároky celé populace. Obdobně lze zjišťovat i rozdílné vlastnosti hustě a řídce využívaných částí habitatu, pokud je provedena analýza odděleně pro určitý percentil nejvyšších a nejnižších hodnot rastru hustoty pravděpodobnosti využití teritoria (Donovan et al. 2011).

3. Levhart sněžný

3.1 Biologie

Levhart sněžný (*Panthera uncia*), dobře známý také pod kazašským názvem *irbis*, patří mezi kočkovité šelmy rodu *Panthera*. Ačkoli jeho české rodové jméno a vzhled odkazují na příbuznost s levhartem, genetické studie prokázaly, že jeho nejbližším příbuzným je tygr, *Panthera tigris* (Jackson et al. 2014). Délka těla dospělého jedince činí 100 – 130 cm, délka ocasu dalších 80 – 100 cm. Dosahují hmotnosti kolem 35 – 45 kg, výjimečně až 75 kg (Fox 1989). Dlouhá hustá srst je bílá až krémově žlutá, s černými skvrnami a rozetami. Jejich rozmístění je individuální a lze podle nich rozlišovat jednotlivé jedince. Zbarvení mu poskytuje dobré krytí mezi skalami a sněhovými poli. V porovnání s ostatními velkými kočkovitými šelmami má v poměru k tělu relativně malou hlavu. Zvětšené nosní dutiny jsou adaptací na chladné podmínky. Krátké přední končetiny s velkými tlapami usnadňují pohyb po příkrých svazích. Dlouhé silné zadní nohy umožňují mohutné skoky, přičemž dlouhý ocas slouží k udržení rovnováhy (Fox 1989, Jackson et al. 2014). Samice rodí nejčastěji 2 až 3 mláďata v jednom vrhu po 90 – 100 dnech březosti. Pohlavní dospělosti sněžný levhart dosahuje ve 2 až 3 letech. Ve volné přírodě se dožívá 10 – 12 let, v zajetí až 21 let (Fox 1989, ZOO Liberec).

3.2 Ekologie

3.2.1 Chování

Sněžní levharti jsou v zásadě samotářští, skupinky tvoří pouze samice s mláďaty do jednoho až dvou let věku (Fox 1989). Nejaktivnější jsou za úsvitu a při soumraku. Poměrně bohatý hlasový projev je podobný jako u ostatních kočkovitých šelem, nicméně nemůže řvát jako ostatní druhy z rodu *Panthera*, kvůli čemuž by dlouhou dobu vyčleňován do samostatného rodu. Nejčastěji se levharti ozývají v období páření (leden až březen) (Fox 1989, Jackson et al. 2014).

V oblastech bohatých na kořist obývá teritorium o rozloze 10 – 40 km², zatímco v oblastech s řidším výskytem potenciální kořisti (Mongolsko) může výměra činit až 140 km² (Jackson et al. 2008). Okrsky samic a samců se často překrývají, nicméně jedinci se vzájemnému kontaktu vyhýbají. Teritorium je značeno především škrábanci a rozstříkáváním moči (Fox 1989). Průměrně denně urazí pouze jednotky

kilometrů v rámci svého teritoria, ale byl zaznamenán případ, kdy levhart vybavený vysílačkou překonal vzdálenost 30 – 40 kilometrů mezi dvěma horskými hřebeny. Informací o schopnostech šíření sněžného levharta je však stále málo (Jackson a Ale 2009, Jackson et al. 2014, McCarthy et al. 2005).

3.2.2 Potrava

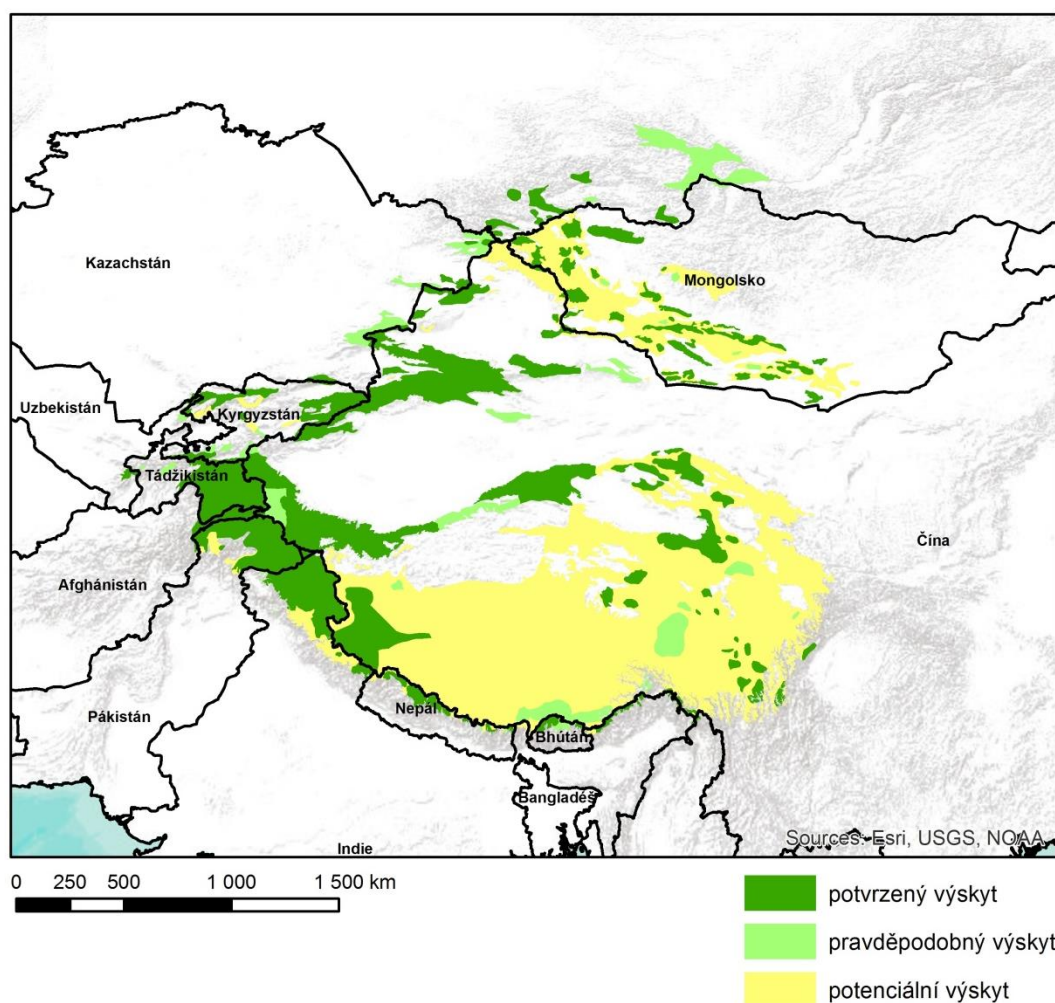
Sněžný levhart plní ve svém areálu funkci vrcholového predátora. Jeho hlavní potravou jsou různé druhy horských ovce a koz, například nahur modrý (*Pseudois nayaur*), tahr himálajský (*Hemitragus jemlahicus*) nebo koza šrouborohá (*Capra falconeri*). Nicméně důležitou složku jeho potravy tvoří i mnoho dalších druhů obratlovců žijících v jeho prostředí, jako jsou svišti (*Marmota spp*), pištuchy (*Ochotona spp*) a bažanti (*Tetrogallus spp*). Běžně způsobuje i škody na hospodářském zvířectvu, kde loví ovce, kozy, jaky, osly, koně i skot (Fox 1989, Jackson et al. 2014). V různých oblastech rozšíření levharta se výše uvedené druhy kořisti podílejí na jeho jídelníčku rozdílně. Například v Nepálu tvoří nahur modrý až 82 % kořisti, zatímco v severozápadním Pákistánu 40 % kořisti tvoří koza šrouborohá. Podíl svišťů dosahuje v některých oblastech až 30 % a hospodářských zvířat místy až 58 % (Jackson et al. 2008, Fox 1989). Pro uspokojení svých energetických nároků potřebuje dospělý jedinec ročně ulovit ekvivalent přibližně 20 - 30 horských koz (Jackson et al. 2008).

3.2.3 Habitatové nároky

Levhart sněžný obývá alpínskou a subalpínskou výškovou vegetační zónu, nejčastěji v nadmořských výškách mezi 3 000 – 4 500 m n. m., nicméně v severních oblastech areálu rozšíření se vyskytuje i níže, mezi 900 – 2 500 m n. m. Výskyt byl zaznamenán i ve výšce kolem 5 800 m n. m. V zimním období mohou sestupovat do nižších poloh kvůli vysoké sněhové pokrývce a vyhledávání kořisti (Jackson et al. 2014). Obecně lze jeho habitat charakterizovat jako aridní prostředí s vysokými denními i ročními teplotními výkyvy a drsnými zimami, které má jednu z nejnižších hodnot produktivity mezi suchozemskými ekosystémy (Jackson a Ale 2009, Jackson et al. 2008). Vyhledává především prudké skalnaté svahy (přesahující i 40 °) s extrémně náročným terénem, kde má dostatek možností úkrytu a pozorování kořisti. Pouze v Mongolsku a Tibetu obývá i plošší terén, pokud mu tamní krajina poskytuje možnosti ke krytí. Vegetační kryt jeho habitatu je tvořen převážně alpínskou vegetací nebo křovinami. V nejsušších lokalitách má povrch charakter horských pouští s minimem vegetace. Při dolní hranici areálu se levhart pohybuje i

v řídkých lesích, ale hustým lesům se vyhýbá. Pro pohyb preferuje trasy podél skalních výchozů a terénních hran (Fox 1989, Jackson et al. 2008). Ve vhodných habitatech Nepálu dosahuje hustota výskytu levhartů sněžných 1,5 – 3,2 ks/100 km², v rámci celého areálu rozšíření kolísá mezi 0,15 až 8,49 ks/100 km² v závislosti na terénu a množství kořisti (Jackson et al. 2014, Dhakal et al. 2013).

3.3 Rozšíření



Obr.3: Rozšíření levharta sněžného

Zdroj: vlastní zpracování dle IUCN, ESRI

Rozsah výskytu levharta sněžného je omezen na oblast velehor střední Asie o celkové výměře přibližně 1,83 mil. km², tento areál je však fragmentovaný. Potenciální areál s možností výskytu levharta dosahuje až 3 mil. km² (Jackson et al. 2008, Jackson a Ale 2009). Jádrové oblasti rozšíření zahrnují pohoří Altaj, Ťan –

Šan, Kun – Lun, Pamír, Hindúkuš, Karakoram a Himálaj. Areál levharta zasahuje do 12 států, největší počet jedinců je zaznamenán na území Číny (Jackson et al. 2008).

3.4 Ohrožení a ochrana

3.4.1 Hrozby

Levhart sněžný je dle systému IUCN klasifikován jako *ohrožený* (EN), tj. že čelí vysokému riziku vyhynutí v blízké budoucnosti. Tento stupeň ohrožení je mu přiřazen již od roku 1986 (Jackson et al. 2008). Jeho počty ve volné přírodě jsou odhadovány na 4 000 – 6 500 jedinců, z toho v Nepálu 300 – 400 kusů (Dhakal et al. 2013, Jackson et al. 2008). V okolních zemích stavy levhartů dosahují 100 – 200 kusů v Bhútánu a 400 – 700 kusů v Indii. V Tibetu je výskyt levharta potvrzen, nicméně odhady počtu jedinců nejsou dostupné (Jackson et al. 2014). Jedním z důvodů jeho ohrožení je omezený areál výskytu, rozloha vhodného habitatu je podle Huntera a Jacksona (1997) pouze 550 000 km², který se navíc může dále zmenšovat vlivem globálních klimatických změn (Jackson et al. 2014). Hlavním rizikem pro přežití sněžného levharta je však člověk a jeho působení. Vlivem nárůstu hustoty zalidnění horských oblastí a rozšiřování lidských aktivit dochází ke ztrátě a fragmentaci habitatu levharta. Dále je ohrožen ilegálním lovem jak ze strany místních pastevců kvůli predaci dobytka, tak ze strany pytláků pro obchod na černém trhu s kožešinou i dalšími částmi těl, využívaných především v tradiční čínské medicíně. Ve většině zemí, na jejichž území se sněžný levhart vyskytuje, nejsou přijaty dostatečné zákony na jeho ochranu, nebo není jejich dodržování efektivně vymáháno. Na nedostatečné úrovni je také přeshraniční spolupráce (Jackson et al. 2008, Jackson et al. 2014). Ta je ztížena i faktem, že areál rozšíření se překrývá s několika spornými či válkou zmítanými územími (Kašmír, Afghánistán). Levhart je ohrožen i redukcí stavu kořisti vlivem její kompetice s hospodářskými zvířaty. Nebezpečí pro levharta představují i pasti, které jsou primárně určeny pro jiné druhy, například vlky nebo kabary (Jackson et al. 2014). Nejvíce ohrožené jsou populace v Číně a Mongolsku, zatímco v částech Nepálu, Pákistánu a Indie stavy levhartů mírně stoupají. Globálně se však počty sněžných levhartů dlouhodobě snižují, za posledních 16 let přibližně o 20 % (Jackson a Ale 2009, Jackson et al. 2008).

3.4.2 Ochrana

Na ochranu druhu byla vypracována Strategie pro přežití levharta sněžného, ve které jsou shrnuty všechny hrozby a návrhy na jejich řešení. Poprvé byla vydána v roce 2003, poslední aktualizace proběhla v roce 2014. Obchod s levhartem sněžným zakazuje mezinárodní smlouva CITES, nicméně Tádžikistán k ní nepřistoupil (Jackson et al. 2014). V devíti státech, na jejichž území se sněžný levhart vyskytuje, byly přijaty akční plány, které mají zajistit ochranu na národní úrovni (Jackson et al. 2008). Mezi konkrétní opatření navrhovaná v Nepálu patří zejména osvěta místních obyvatel, dále definování jádrových zón výskytu a důležitých migračních koridorů, programy pro pojištění dobytka, posílení týmů bojujících proti pytlákům a zlepšení spolupráce mezi vládou a ochránci (Dhakal et al. 2013).

3.4.3 Chov v zajetí

Levhart sněžný je často chován v zoologických zahradách, kde je pro svůj atraktivní vzhled i oblíbeným cílem návštěvníků. Celkový počet levhartů v zoologických zahradách po celém světě dosahuje 600 – 700 kusů (WWF Nepal). Úspěšně se ho daří v zajetí i rozmnožovat (ZOO Liberec). Nabízí se zde tedy možnost případné reintrodukce, nicméně k té zatím nemuselo být přikročeno. Jak uvádí Jackson a Ale (2009), reintrodukce velkých šelem je velmi náročná a s nejistými výsledky, a tak by na prvním místě měla být snaha o zachování životaschopné populace žijící ve volné přírodě.

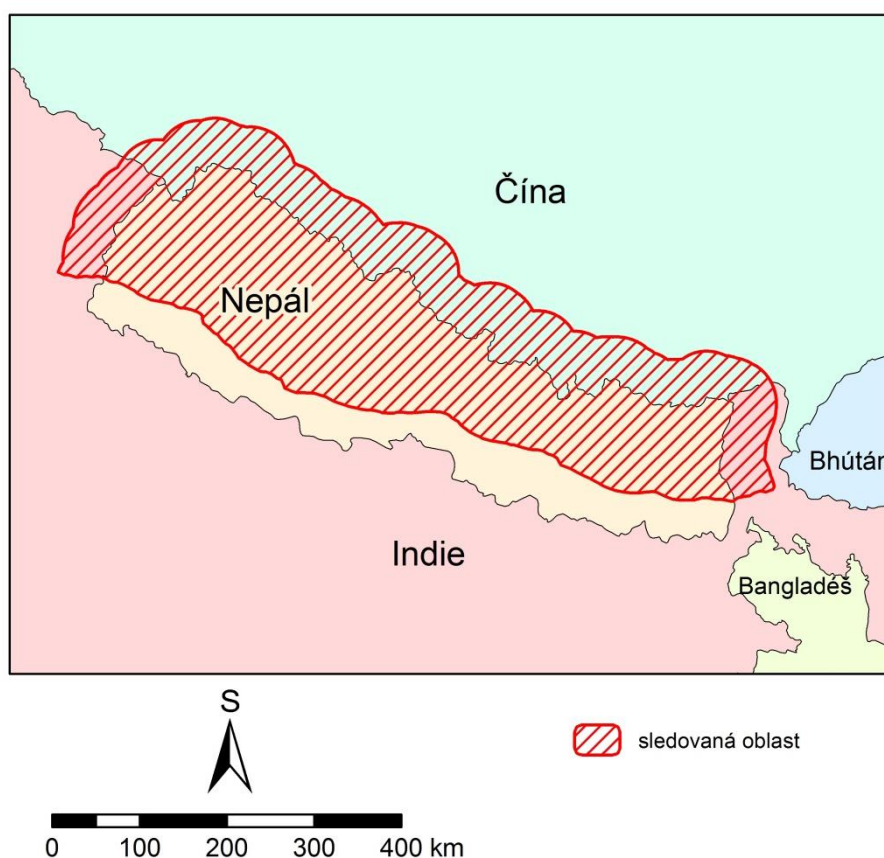
4. Charakteristika prostředí Nepálu

4.1 Vymezení zájmového území

Hlavním cílem této práce je analýza konektivity habitatů levharta sněžného v Nepálu. Hranice zájmového území však byly z několika důvodů upraveny.

1) Bylo vhodné odstranit nížinné oblasti na jihu Nepálu, kde pro život levharta nejsou vhodné podmínky. Tímto se snížil rozsah proměnných vstupujících do modelu, což vedlo k lepší přesnosti modelu. Oříznutí bylo provedeno podle Velkého hraničního zlomu (Daniel a Kalvoda 1978).

2) Státní hranice pro levharta nejsou nijak omezující a bylo velmi pravděpodobné, že vhodné migrační trasy mezi jednotlivými lokalitami v Nepálu částečně mohou vést přes území Tibetu. Z tohoto důvodu byly do analýzy zahrnuty i příhraniční oblasti Číny a Indie. Vymezení má podobu 50km bufferu okolo nepálských hranic.



Obr.4: Vymezení zájmového území

Sledovaná oblast má celkovou rozlohu 154 073 km². Z toho největší podíl tvoří území Nepálu (95 066 km², 61,7 % z celku), dále území Číny (45 388 km², 29,5 %) a nejmenší část tvoří území Indie, které je rozděleno do dvou oblastí na východním a západním okraji oblasti (celkem 13 619 km², 8,8 %).

4.2 Fyzickogeografická charakteristika

Na rozšíření levharta sněžného má z níže uvedených charakteristik největší přímý vliv reliéf a krajinný pokryv, jelikož vyhledává především stanoviště s příkrými svahy a řídkou vegetací. Tyto podmínky však nejsou stálé, ale v čase se mění. Dle klimatických modelů se očekává zvýšení teploty a srážek v oblasti. To bude mít pravděpodobně za následek vzestup horní hranice lesa a tím i úbytek a fragmentaci vhodných stanovišť pro levharta. V následujících sto letech tak může z těchto přírodních důvodů zaniknout až 30 % vhodného habitatu (Dhakal et al. 2013, Jackson et al. 2014). Další signifikantní hrozbou jsou narůstající aktivity člověka ve vyšších polohách Nepálu, což vede k dalšímu snížení rozlohy vhodného habitatu.

4.2.1 Geologie a reliéf

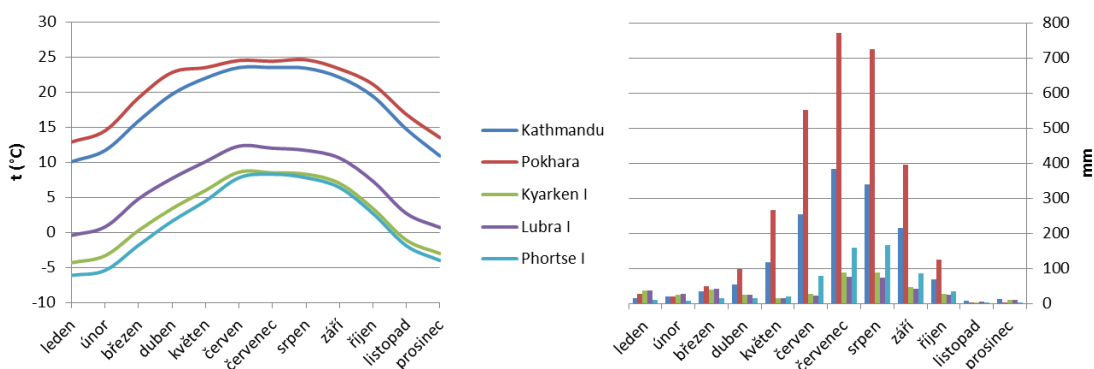
Celé území náleží do soustavy pohoří Himálaj. V jižní části převládají metamorfované sedimenty Malého Himálaje. V centrální části se vyskytují krystalinické příkrovy Velkého Himálaje. Na severu dominují tethydní sedimenty Tibetského Himálaje. Tyto hlavní celky jsou místy prostoupeny granity terciérního stáří (Daniel a Kalvoda 1978). Oblast leží v kolizní zóně Indické a Eurasijské desky, které konvergují rychlostí 40 – 50 mm ročně. Následkem toho zde dochází k tektonickému zdvihu a výskytu častých silných zemětřesení o magnitudě až 8,6 (Earthquake Hazards Program). Nadmořské výšky v oblasti se pohybují v rozmezí 105 – 8848 m n. m.. Průměrná nadmořská výška činí 3 376 m n. m.. 57,1 % území leží nad hranicí 3 000 m n. m. a 22,1 % území leží nad 5 000 m n. m.. Reliéf je velmi členitý, na 84,8 % plochy ho lze klasifikovat jako velehorský. Zarovnanější povrch pahorkatinného až horského charakteru se nachází především na území Tibetu severně od hlavního hřbetu Himálaje. Převládá modelace reliéfu glaciálními a svahovými procesy (Daniel a Kalvoda 1978).

4.2.2 Klima

Klima je na tomto relativně malém sledovaném území velmi pestré. Určujícími faktory pro klima je vliv monzunů a horská bariéra Himálaje, která zasahuje až do

horních vrstev troposféry (Daniel a Kalvoda 1978). Dle Köppenovy - Geigerovy klasifikace klimatu spadá sledovaná oblast do zón Cwa a ET. Zóna Cwa (teplé klima s horkým létem a suchou zimou) se nalézá na jihu, zatímco zóna ET (klima tundry) se vyskytuje na tibetské náhorní plošině (Kottek et al. 2006).

Srážky jsou výrazně časově i prostorově diferencované. Na návětrných jižních svazích Himálaje dosahuje průměrný roční srážkový úhrn až přes 4 000 mm, na tibetské náhorní plošině činí pouze méně než 300 mm. Množství srážek se snižuje také ve východo-západním směru kvůli slábnoucímu vlivu letního monzunu. Až 80 % ročního úhrnu srážek выпадává v období od června do září, kdy vane vlhký jihovýchodní monzun. Naopak zimy jsou srážkově chudé (Daniel a Kalvoda 1978, Aryal a Rajkarnikar 2011).



Obr.5: Srovnání průměrných měsíčních teplot a srážek ve městech Káthmándú, Pokhara a v okolí vybraných fotopastí

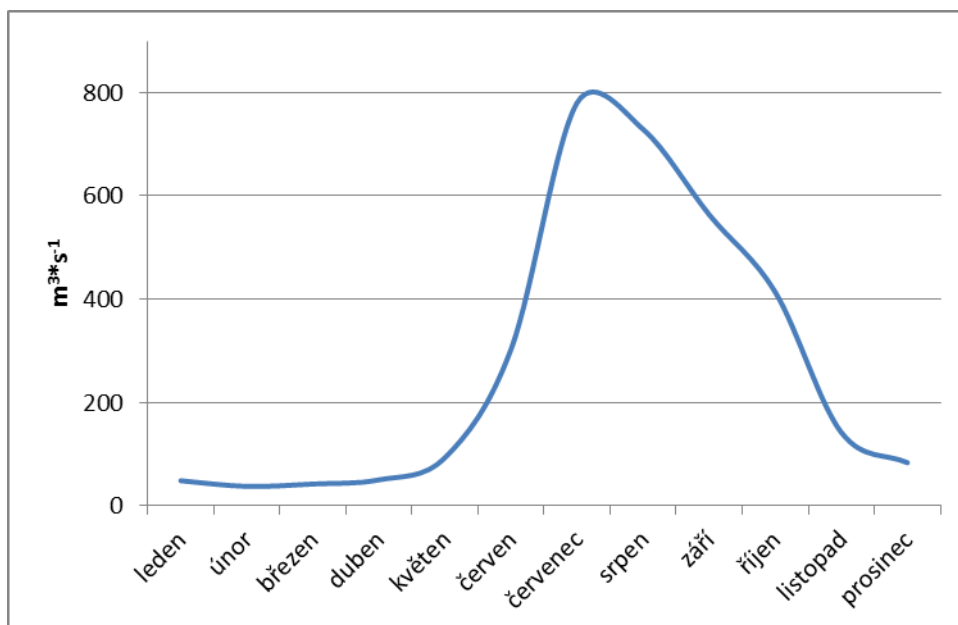
Zdroj: vlastní zpracování dle WorldClim

Velmi variabilní jsou i průměrné roční teploty a jejich chod. Roční průměry leží mezi téměř -20 °C na v nejvyšších partiích Himálaje až po 25 °C na jihu oblasti. Průměrná roční teplota na tibetské plošině se pohybuje kolem bodu mrazu. Lednové teploty kolísají mezi -26 °C a 17 °C. Červencové teploty dosahují -12 °C až téměř 29 °C. Na sever od hlavního himálajského hřbetu je roční amplituda teplot výrazně větší (až 35 °C) než na jihu, zcela nejmenší je na jihovýchodě oblasti (16 °C).

4.2.3 Hydrologie a zalednění

Velká většina území je přes říční systém Ganga – Brahmaputra odvodňována do Bengálského zálivu. Pouze malá část na severozápadě spadá do povodí Indu a tudíž do úmoří Arabského moře. Významnými toky protékajícími oblastí jsou Koshi, Kali Gandaki, Karnali a okrajově zasahující horní tok Brahmaputry (Aryal a Rajkarnikar 2011). Horní toky himálajských řek mají ledovcový odtokový režim, který

na dolních tocích přechází v monzunový (Daniel a Kalvoda 1978). Vodní toky mají vysokou rozkolísanost odtoku s maximy v červenci až říjnu, jak ilustruje obrázek 6.



Obr.6: Průměrné měsíční průtoky řeky Kali Gandaki v roce 1968 u Sétibení

Zdroj: vlastní zpracování dle Daniel a Kalvoda 1978

Současné zalednění Himálaje je vzhledem k velikosti pohoří relativně malé, jelikož většina srážek vypadává v teplém období, kdy jsou velké odtokové ztráty. Celková plocha ledovců ve sledovaném území činí 1 233 km². Čára věčného sněhu na jižních svazích Himálaje v Nepálu leží v 5 100 – 5 400 m n. m., na severních svazích potom v 5 700 – 5 800 m n. m., přičemž čela ledovců sestupují až do 4 200 – 4 400 m n. m. (Daniel a Kalvoda 1978).

4.2.4 Fauna a flóra

Území leží na rozhraní Holarktické a Paleotropické fytogeografické oblasti a také na hranicích Palearktické a Indomalajské zoogeografické oblasti. Vyznačuje se vysokou biodiverzitou, patří do hotspotu Východní Himálaje. Vliv na biodiverzitu má především velký vertikální gradient a pestrost klimatických podmínek. V oblasti byly vymezeny tři prioritní klíčové oblasti biodiverzity: Annapurna, Makalu – Barun a Kanchenjunga, a dále několik ostatních klíčových oblastí biodiverzity: Manasulu, Langtang, Sagarmatha, Tamur Valley, Shivapuri, Phulchowki Mountain a Barandabhar (CEPF 2005). Celkem je na území Nepálu evidováno 11 971 druhů rostlin a 11 861 druhů živočichů. Z toho je endemických 286 druhů rostlin a 160

druhů živočichů, které jsou soustředěny především do subalpínské a alpínské výškové zóny. 9 nepálských druhů rostlin a 289 druhů živočichů je zahrnuto na Červený seznam ohrožených druhů IUCN. Zalesněno je 29 % plochy Nepálu, horní hranice výskytu stromů leží v nadmořské výšce kolem 4 000 m (Nepal National Biodiversity Strategy and Action Plan 2014). Lesnatost ve sledovaném území dosahuje 30,7 %.

název	dominantní rody	nadmořská výška (m)
tropický opadavý les	<i>Shorea, Pandanus</i>	do 1 500
tropický stálezelený les nižších horských poloh	<i>Quercus, Castanopsis</i>	900 – 2 000
tropický stálezelený horský mlžný les – nižší pásmo	<i>Magnolia, Rhododendron, Machilus</i>	1 800 – 3 000
tropický stálezelený horský mlžný les – vyšší pásmo	<i>Rhododendron, Tsuga, Abies</i>	2 800 – 4 000
subalpínský les	<i>Betula</i>	3 500 – 3 800
vlhké alpské křoviny a louky	<i>Rhododendron, Juniperus</i>	3 500 – 4 900

Tab.1: Vegetační výškové stupně centrálního Nepálu

Zdroj: vlastní zpracování podle Daniel a Kalvoda 1978

Tabulka 1 ukazuje vegetační výškové stupně v centrální části Nepálu. Výšková zonalita se v Himálaji liší jak ve východo-západním směru, tak mezi severními a jižními svahy. Východní část je výrazně vlhčí než západní, což umožňuje v nižších stupních výskyt tropického deštného lesa, zatímco na západě se ve stejných výškách vyskytují polopouště a stepi. Podobně na aridní severní straně Himálaje je vegetační kryt tvořen pouze chladnomilnou vysokohorskou stepí. Horní hranice lesa se pohybuje mezi 3 400 – 3 800 m n. m. na jižních svazích až po 4 600 m n. m. v oblasti Tibetu (Daniel a Kalvoda 1978).

4.3 Vliv člověka

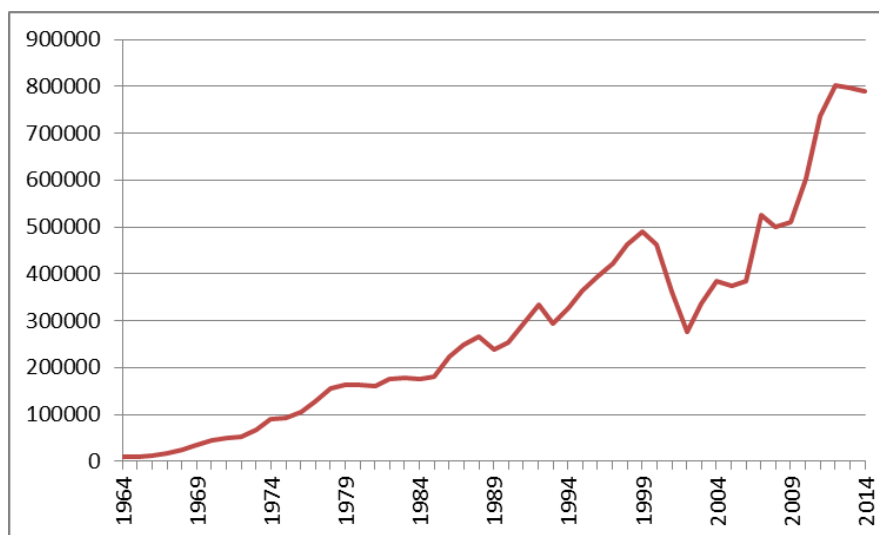
Vhodný habitat pro levharta sněžného je primárně určen přírodními podmínkami uvedenými výše, nicméně působením člověka mohou být tyto podmínky významně modifikovány. Jedná se především o rušení levharta, změnu krajinného pokryvu a fragmentaci prostředí.

Nepál je relativně hustě osídlenou zemí, počet obyvatel činí přibližně 31 550 000 (The World Factbook, odhad 2015) s hustotou zalidnění 214 ob/km². Rozložení obyvatelstva není rovnoměrné, pohybuje se mezi 3 ob/km² (okres Mustang) až po 4 408 ob/km² (Káthmándú) (Nepal National Biodiversity Strategy and Action Plan 2014). Roční přírůstek obyvatel činí 1,79 %. Míra urbanizace dosahuje 18,6 %, největším městem je Káthmándú s 1,18 miliony obyvatel (The World Factbook). Zhruba polovina obyvatel žije ve venkovských horských oblastech. Až 80 % obyvatel je zaměstnáno v zemědělství, které tvoří 35 % HDP Nepálu (CEPF 2005). Orná půda tvořila v roce 1994 21 % rozlohy Nepálu (Nepal National Biodiversity Strategy and Action Plan 2014). Právě zemědělská činnost v horských oblastech představuje velké riziko pro tamní ekosystémy, jelikož po odlesnění strmých svahů dochází k intenzivní vodní erozi (CEPF 2005). Negativním jevem je také fragmentace prostředí dopravními stavbami. Mnoho komunikací je teprve ve fázi projektování a jejich počet tudíž bude v budoucnu narůstat (CEPF 2005). Byly postaveny tři transhimálajské silnice, z toho dvě v Nepálu a jedna v Indii ve státě Sikkim. Dalším významným prvkem z hlediska ohrožení himálajských ekosystémů je plánovaná výstavba hydroelektráren. Himálajské řeky mají velký hydroenergetický potenciál, nicméně v současnosti je pouze 21 % nepálských domácností elektrifikovaných (CEPF 2005).

4.3.1 Turismus

Nepál je díky své unikátní přírodě i vyhledávanou turistickou destinací, avšak právě trekking proniká do nehostinných horských oblastí hlouběji než činnost místních obyvatel a působí rušivě nejen na levharta sněžného, ale i na jeho kořist.

Turismus je po zemědělství druhým nejvýznamnějším odvětvím nepálské ekonomiky (CEPF 2005). V roce 2014 navštívilo Nepál 790 000 turistů, historickým maximem je 803 000 turistů z roku 2012. Navzdory stagnaci v letech 2012 – 2014 v dlouhodobém měřítku počet turistů výrazně narůstá, například v roce 2000 bylo zaznamenáno 464 000 turistů.



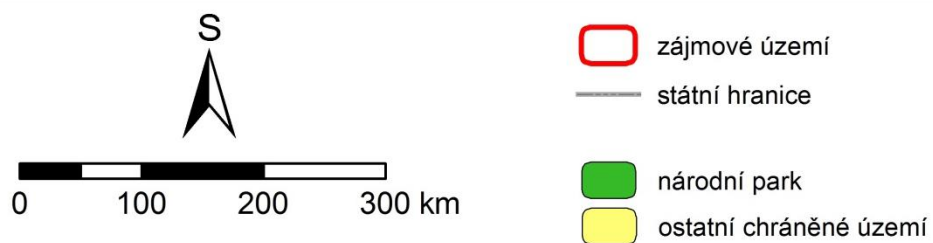
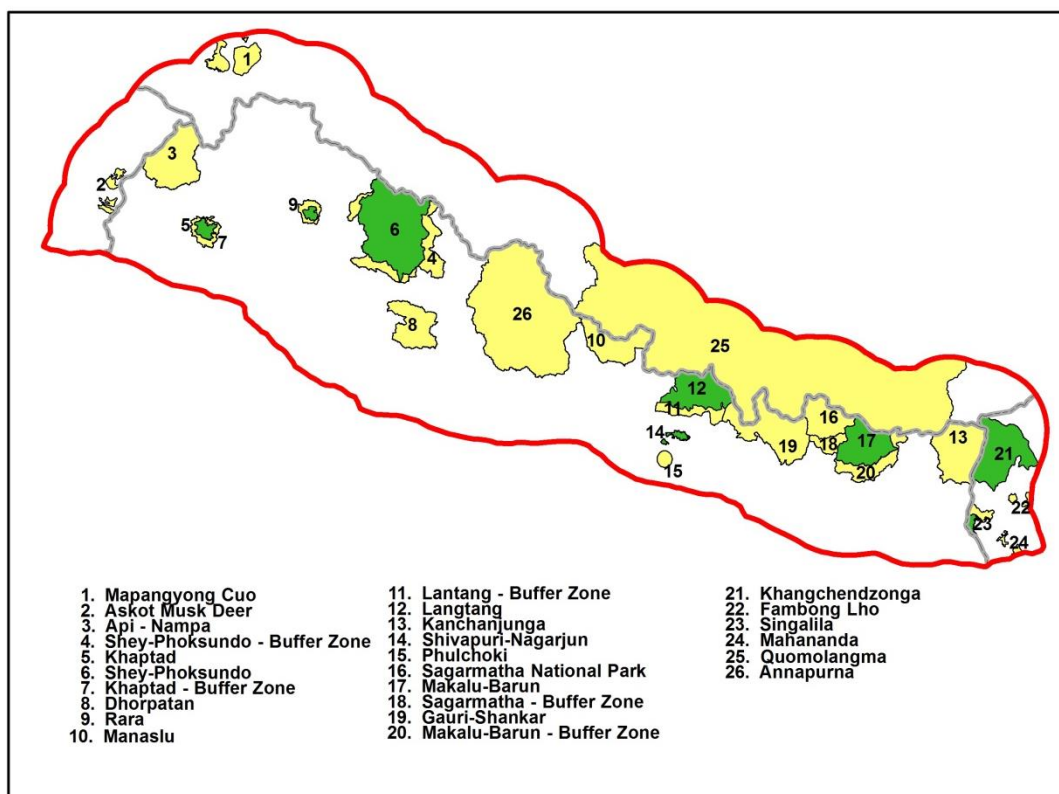
Obr.7: Vývoj počtu turistů směřujících do Nepálu v letech 1964 – 2014

Zdroj: vlastní zpracování podle Nepal Tourism Statistics 2015

Nejvyhledávanějšími turistickými oblastmi jsou Shivapuri Nagarjun NP (180 000 turistů v roce 2014), Chitwan NP (173 000), Sagarmatha NP (35 000) a Bardiya NP (14 000) a Langtang NP (13 000) (Nepal Tourism Statistics 2015). Rozmach turismu však může mít negativní vliv na rušení klidu v dosud řídce osídlených odlehlých oblastech (CEPF 2005).

4.3.2 Ochrana přírody

Různou formou ochrany je chráněno 23,23 % plochy Nepálu, čímž se řadí mezi dvacet států světa s největším podílem chráněného území. Rozloha chráněných oblastí v posledních letech výrazně vzrůstá, za posledních 25 let se téměř ztrojnásobila (Nepal National Biodiversity Strategy and Action Plan 2014). Ze sledovaného území je chráněno celkem 30,41 %. V oblasti leží celkem osm národních parků, z toho šest na území Nepálu a dva na území Indie, jak je vyznačeno na obrázku č.8.



Obr.8: Chráněná území v oblasti

Zdroj: vlastní zpracování podle Protected Planet

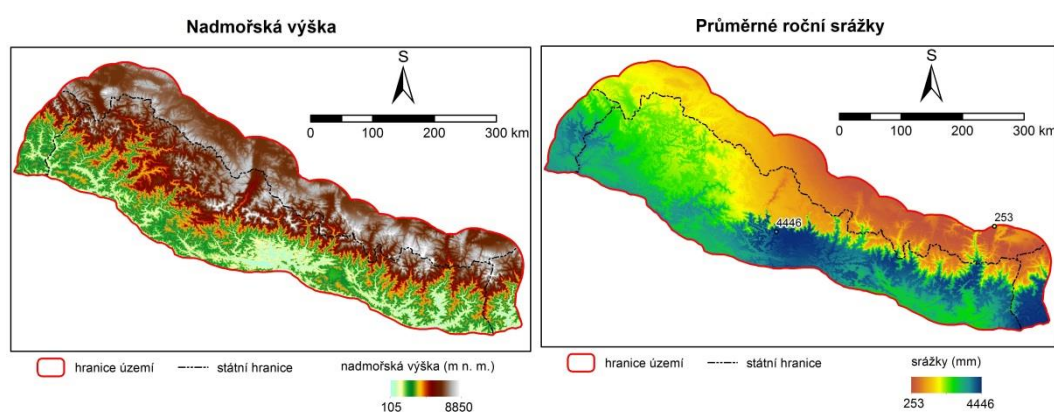
5. Metodika

Nejprve byla připravena a analyzována data charakterizující environmentální podmínky Nepálu. Posléze byl sestaven habitatový model v programu MaxEnt, jehož výsledky byly dále využity v programu a Linkage Mapper pro analýzu konektivity (Elith et al. 2006, Cushman et al. 2013).

5.1 Použitá data

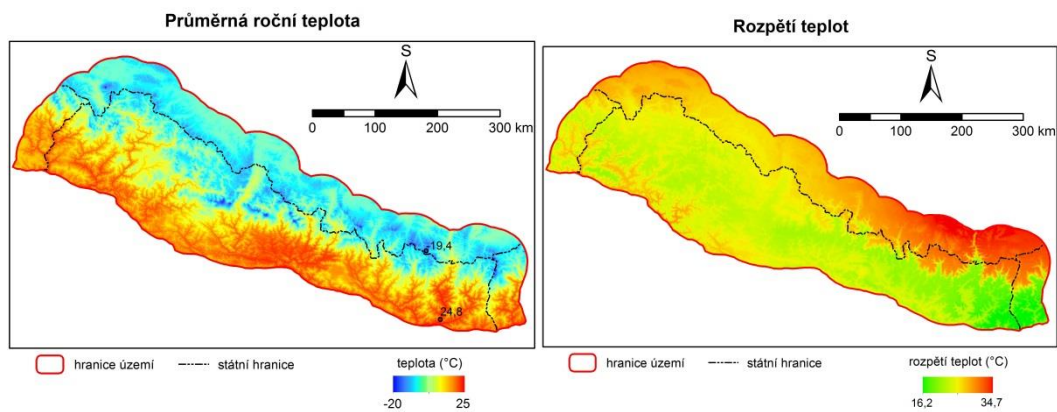
Podmínky prostředí Nepálu byly popsány pomocí níže uvedených dat. Náhledy nejdůležitějších map ve větším rozlišení jsou rovněž přiloženy v příloze.

- 1) Digitální model reliéfu: rastr s prostorovým rozlišením 1 úhlová vteřina (cca 30 m)
zdroj: SRTM. Z něj byly dále generovány rastry sklonitosti a členitosti terénu.



Obr.9: Nadmořská výška a průměrné roční srážky v oblasti

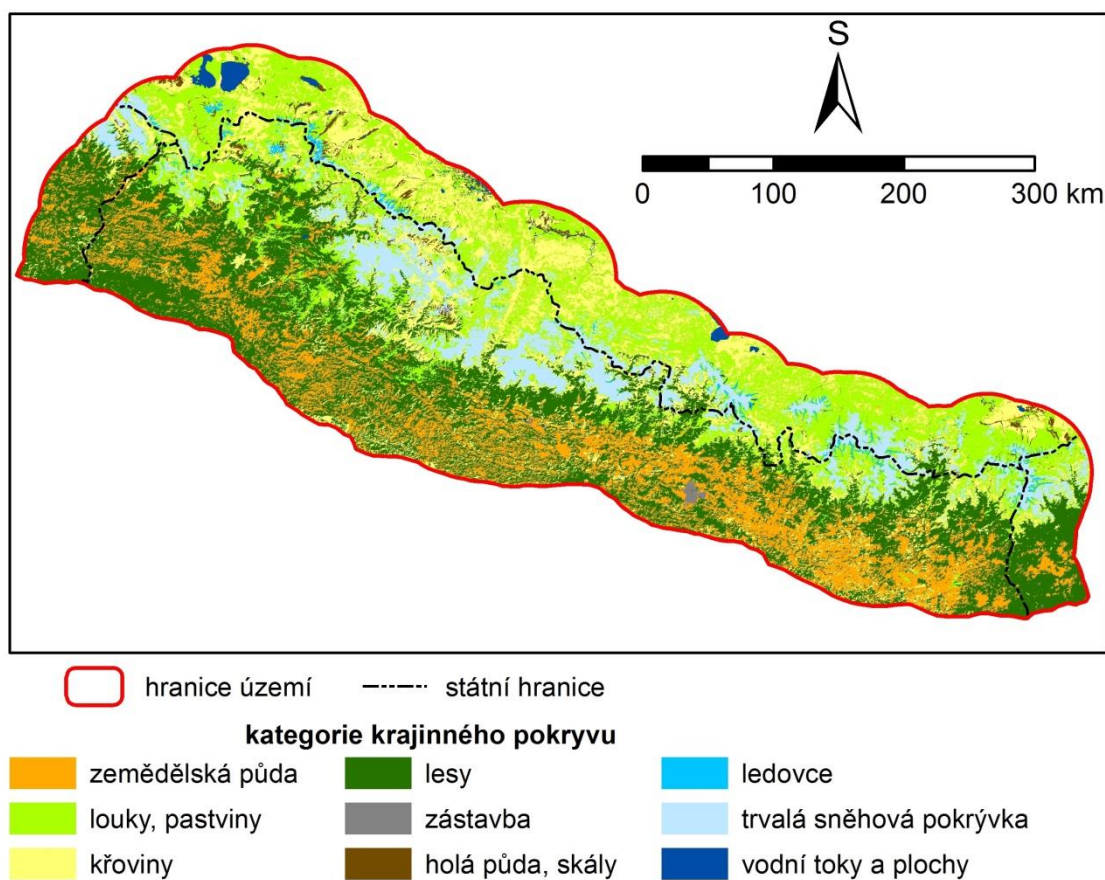
- 2) Klimatická data: rastry s prostorovým rozlišením 30 úhlových vteřin (cca 1 km),
zdroj: WorldClim. Dataset obsahoval data o průměrných ročních srážkách, průměrné roční teplotě, průměrné lednové teplotě, průměrné červencové teplotě, teplotním rozpětí a teplotní sezonalitě.



Obr.10: Průměrná roční teplota a rozpětí teplot v oblasti

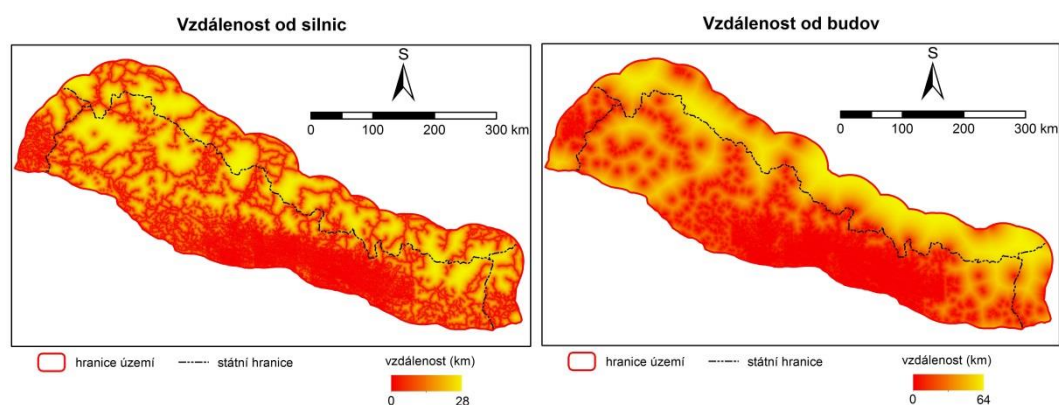
- 3) Krajinný pokryv: vektorový formát (polygony), zdroj: FAO Global Land Cover Network. Výchozích 33 kategorií bylo sloučeno do 7 hlavních tříd krajinného pokryvu.

Krajinný pokryv



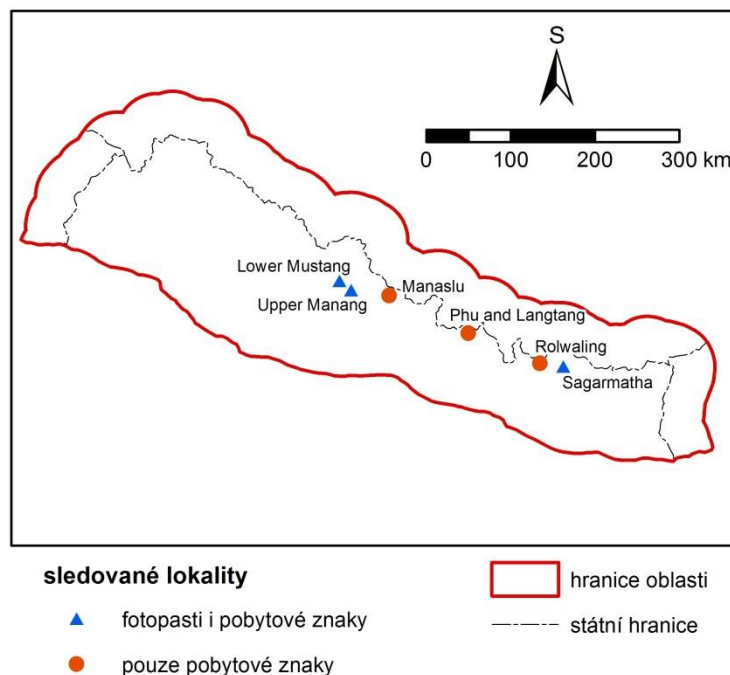
Obr.11: Krajinný pokryv v oblasti

- 4) Vzdálenost od silnic: rastr euklidovské vzdálenosti s prostorovým rozlišením 30 m generovaný z liniových prvků databáze OpenStreetMap



Obr.12: Vzdálenost od silnic a vzdálenost od lidských sídel v oblasti

- 5) Vzdálenost od lidských sídel: rastr euklidovské vzdálenosti s prostorovým rozlišením 30 m generovaný z polygonových prvků databáze OpenStreetMap



Obr.13: Přehledná mapa oblastí, kde byl sledován výskyt levharta sněžného

Nálezová data levharta sněžného pocházejí z práce Bikrama Shreshty, doktoranda ÚŽP PŘF UK. Záznamy byly pořizovány za použití fotopastí a také

terénního průzkumu zaměřeného na pobytové znaky. Fotopasti byly umístěny v oblastech Lower Mustang, Upper Manang a Sagarmatha, terénní průzkum byl prováděn kromě těchto oblastí i v lokalitách Phu a Langtang, Manaslu a Rolwaling. Záznamy byly pořízeny v nadmořských výškách mezi 3 227 a 5 140 m n. m..

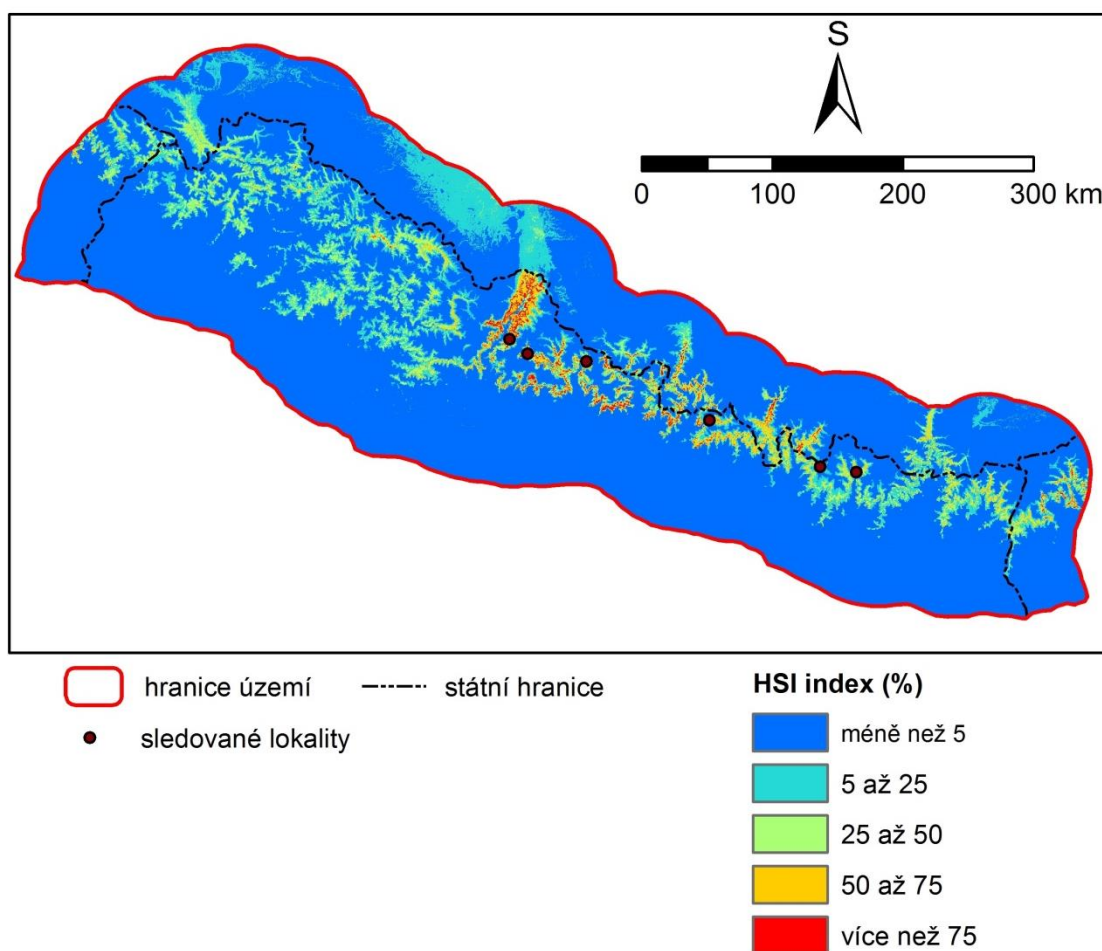
5.2 Postup

Nejprve byla v programu ArcGIS 10.2 připravena data popisující proměnné prostředí v rozsahu pokrývajícím sledovanou oblast. Všechna data byla převedena do jednotné podoby rastru s prostorovým rozlišením 100 metrů ve formátu ASCII. Následně byl z tabulek obsahujících zeměpisné souřadnice a záznamy o nálezu vytvořen také soubor 381 bodů reprezentujících zaznamenaný výskyt levharta sněžného, uložený ve formátu csv. Za využití takto připravených dat byla v programu MaxEnt 3.3.3k provedena analýza habitatových nároků levharta sněžného a míry vhodnosti habitatu pro jeho výskyt (Elith et al. 2006). Vždy 25 % prezenčních bodů bylo náhodně vybráno jako testovací množina. Bylo vytvořeno více modelů s použitím různých kombinací environmentálních dat, z nichž byl po jejich vzájemném porovnání vybrán nejvhodnější. Výběr byl proveden na základě prostudování odpovědních (ROC) křivek, srovnání hodnot AUC a vizuální kontroly map předpovídané distribuce. Výstup z programu MaxEnt byl dále použit jako rastr rezistence v programu Linkage Mapper 1.0.9 pro analýzu propustnosti nepálské krajiny pro pohyb levharta sněžného a definování migračních koridorů (Cushman et al. 2013). Potřebné jádrové oblasti výskytu levharta sněžného, mezi kterými byla zjišťována míra konektivity, byly definovány jako území s hodnotou HSI (habitat suitability index) více než 50 % s rozlohou minimálně 10 km². Plošek splňujících tyto podmínky se ve sledovaném území nacházelo 60.

6. Analýza konektivity krajiny Nepálu z pohledu levharta sněžného

6.1 Habitatové nároky a potenciální distribuce

Pro zjištění habitatových nároků a potenciálního rozšíření levharta sněžného na území Nepálu byl použit model MaxEnt pracující s environmentálními proměnnými popisujícími nadmořskou výšku, sklonitost terénu, průměrné roční srážky, průměrnou roční teplotu, průměrnou lednovou teplotu, teplotní rozpětí a krajinný pokryv (Elith et al. 2006). Nejdůležitější proměnnou v modelu je nadmořská výška, která se na vysvětlení potenciální distribuce podílí 35 %. Za ní následuje průměrná lednová teplota s podílem téměř 31 %. Naopak sklonitost terénu má podíl pouze 0,9 %.



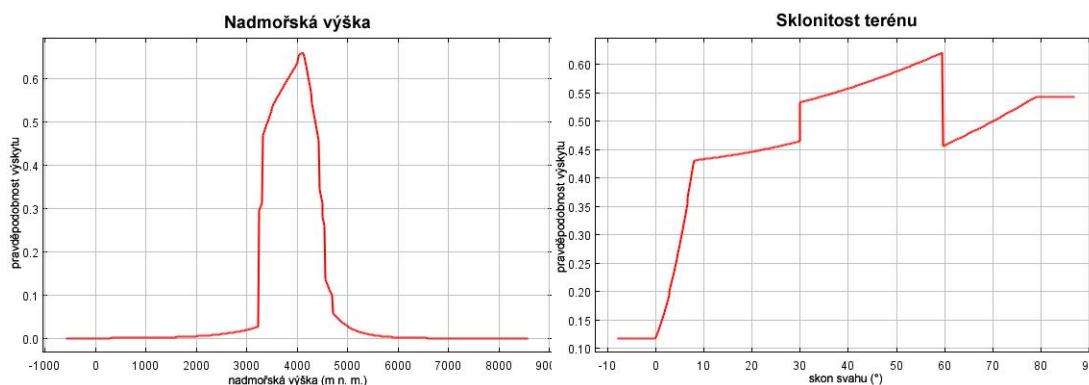
Obr.14: Index vhodnosti habitatu (HSI) pro levharta sněžného

V mapě zobrazující index vhodnosti habitatu (obrázek 14) je patrné, že oblasti vhodné pro výskyt levharta sněžného jsou omezeny na relativně úzký pás na jižních svazích Himálaje. Charakteristika jádrových oblastí (s HSI více než 50 %) je uvedena v tabulce 2. Jádrové oblasti jsou soustředěny především do centrální části Nepálu, několik vhodných území se nachází i ve východní části země, v přiléhajících částech Tibetu a v indické provincii Sikkim. Naopak v západní části Nepálu nebyla definována žádná jádrová oblast. Největší souvislá plocha s indexem HSI vyšším než 50 % leží v oblasti Mustang v údolí řeky Kali Gandaki a náleží do chráněného území Annapurna.

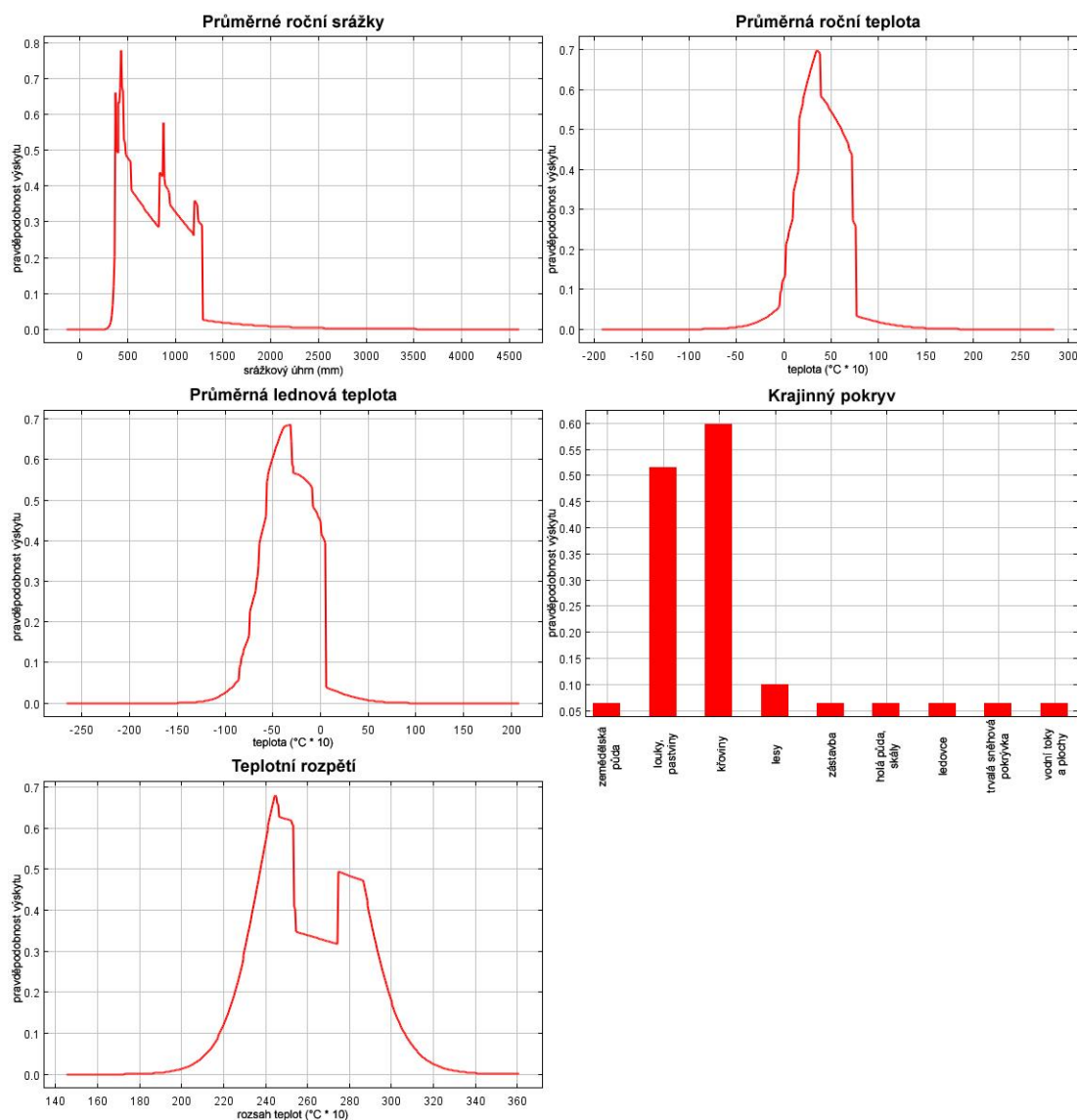
rozloha	4 746 km ²	
	průměr	rozsah 2. a 3. kvartilu
nadmořská výška	3952 m n.m.	3 695 – 4 210 m n. m.
roční srážky	558 mm	416 – 636 mm
roční teplota	3,5 °C	2,2 – 4,9 °C
lednová teplota	-3,9 °C	-5,3 - -2,4 °C
sklonitost	32 °	22 – 41 °
převládající typy krajinného pokryvu	křoviny (51 %) louky a pastviny (42 %) lesy (5 %) trvalá sněhová pokrývka (1 %) ostatní kategorie mají podíl nižší než 1 %	

Tab.2: Charakteristika nejvhodnějších oblastí pro výskyt levharta sněžného

Jak vyplývá z tabulky 2 a odpovědních křivek na obrázcích 15 a 16, podle provedené analýzy vhodnosti habitatu sněžnému levhartovi vyhovují nejvíce oblasti ležící v nadmořské výšce kolem 4 000 m n. m. se sklonem terénu 30 ° až 60 °. Klimaticky lze vhodný habitat charakterizovat jako relativně sušší oblasti s průměrnou roční teplotou 2 až 5 °C. Preferovanými kategoriemi krajinného pokryvu jsou jednoznačně křoviny a travnatý porost.



Obr.15: Odpovědní křivky (ROC) na jednotlivé environmentální proměnné

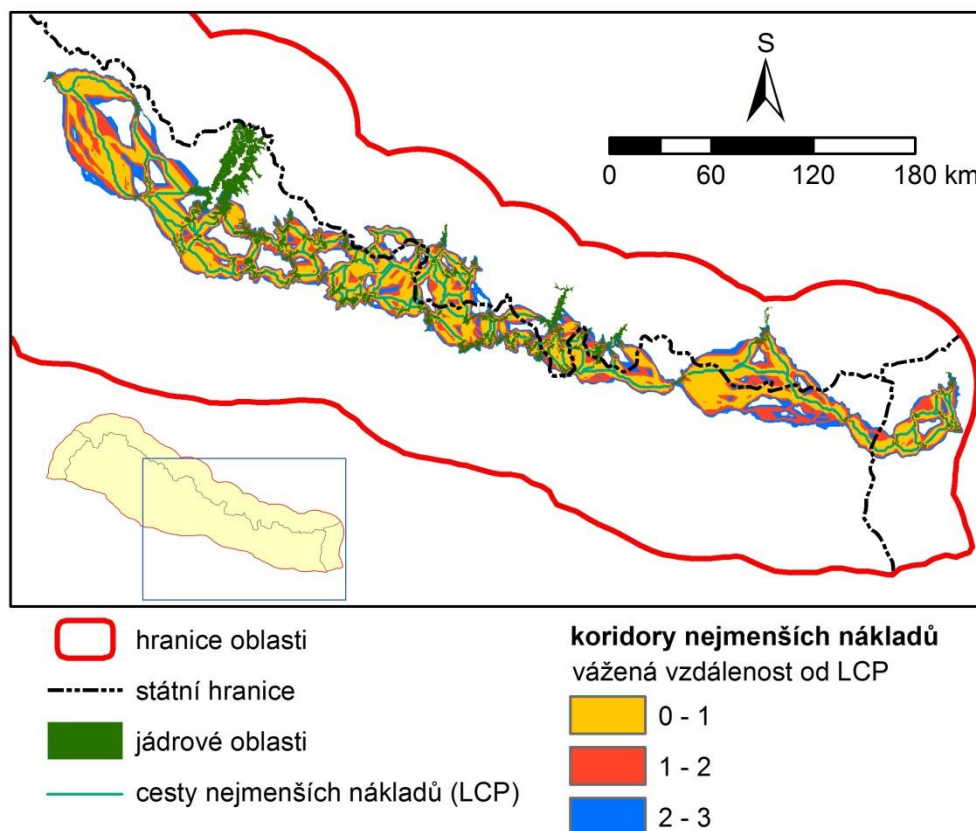


Obr.16: Odpovědné křivky (ROC) na jednotlivé environmentální proměnné

6.2 Konektivita jádrových oblastí

Míra propojení jádrových oblastí byla zjišťována v programu Linkage Mapper (Cushman et al. 2013). Tento software poskytuje výsledky v podobě koridorů nejmenších nákladů (least-cost corridor), které umožňují kromě liniové jednorozměrné cesty nejmenších nákladů (least-cost path; LCP) ohodnotit i případné alternativní trasy a šířku vhodných migračních tras (Cushman et al. 2013). V této analýze byla zjišťována míra konektivity mezi 60 jádrovými oblastmi, které byly definovány z předchozího modelu habitatové vhodnosti podle podmínek uvedených v kapitole 5.2.

Z výsledků modelu vyplývá, že velké množství jádrových oblastí ležících v centrální části Nepálu mezi chráněnými oblastmi Annapurna a Gauri - Shankar a v příhraniční oblasti Tibetu je vzájemně velmi dobře propojeno. Vypočtené cesty nejmenších nákladů mezi těmito jádrovými oblastmi jsou dlouhé většinou do 15 km, což lze považovat za vzdálenost, kterou je levhart schopen dobře překonat (Jackson et al. 2014, McCarthy et al. 2005). Podobná situace byla zjištěna i v Indii v národním parku Khangchendzonga, kde jsou jádrové oblasti rovněž propojeny krátkými koridory, navíc s nízkým podílem nákladů k délce (viz Příloha 7) a tedy dobře průchodnými. Naopak populace v národním parku Sagarmatha se jeví jako izolovaná, neboť cesty nejmenších nákladů napojující ji na ostatní jádrové oblasti jsou delší než 40 km (McCarthy et al. 2005). Rovněž směrem na západ od chráněné oblasti Annapurna je konektivita na nízké úrovni. V celostátním měřítku tedy míra konektivity nedosahuje potřebné úrovně k dobrému propojení jednotlivých populací.



Obr.17: Migrační koridory

Pozn.: mapa ve větším rozlišení je uvedena též jako Příloha 6

7. Diskuze

Hlavními výstupy této práce jsou mapy vhodných habitatů pro levharta sněžného a konektivity jádrových oblastí, a to v měřítku odpovídajícím rozloze Nepálu. Jak rozlišuje Beier et al. (2011), jedná se tedy o regionální mapu konektivity, která by měla posloužit jako stručný a přehledný základ pro další analýzy a rozhodování o zlepšování konektivity v různých oblastech, nikoli jako podklad pro přímá opatření v konkrétních místech (například budování ekoduktů přes komunikace apod.).

Výsledky analýzy habitatových nároků levharta odpovídají údajům, které uvádí Fox (1989) a Jackson et al. (2014), zvláště ohledně preferované nadmořské výšky, sklonitosti terénu a krajinného pokryvu. Mapa vhodných habitatů ukazuje, že nejvhodnější oblasti pro výskyt levharta sněžného leží v centrální části Nepálu (mezi chráněnými oblastmi Annapurna a Gauri - Shankar). Podle Dhakala et al. (2013) se největší plochy potenciálního habitatu levharta nacházejí v západním Nepálu (podle jeho vymezení od západních hranic po chráněnou oblast Manaslu, zahrnuje tedy i chráněnou oblast Annapurna). Tyto informace nejsou zcela v rozporu, v mapě indexu HSI na obrázku 14 jsou rovněž patrné rozsáhlé plochy dosahující hodnot indexu 5 – 50 %, nicméně tyto nepostačovaly k definování jádrových oblastí. Tato západní oblast je pravděpodobně v analýze podhodnocena z důvodu absence lokalit, kde byla prezence levharta zaznamenávána. Ve shodě s Jacksonem et al. (2014) z modelu vychází jako zcela nejlepší lokalita v celém Nepálu oblast Mustang.

Typickou krajinu vhodnou pro výskyt levharta sněžného lze podle výsledků modelu ve shodě s literaturou charakterizovat jako suchou vysoko položenou oblast s velkou roční teplotní amplitudou. Preferovaný reliéf je svažitý a velmi členitý, dále rozbrázděný množstvím terénních hran a skalních výchozů. Vegetační kryt je zpravidla tvořen především křovinami a bylinným porostem (Fox 1989, Jackson et al. 2014).

Pro další zpřesnění modelu habitatových nároků by pravděpodobně významně posloužila nálezová data levharta z dalších oblastí Nepálu – především z jeho západní části. Dále by bylo vhodné použití dat zaznamenávajících hustotu kořisti levharta nebo popisujících antropogenní činnost v oblasti. Připravené rastry euklidovských vzdáleností od silnic a lidských sídel se ukázaly pro model jako matoucí, protože sledované lokality se nacházely především v blízkosti budov a

komunikací. Pozitivní efekt by mělo i použití digitálního modelu reliéfu s vyšším prostorovým rozlišením, ve kterém by byly zachyceny i drobnější terénní nerovnosti, které levhart sněžný aktivně vyhledává (Fox 1989).

V modelu konektivity byla potvrzena původní hypotéza, že některé důležité migrační trasy mohou vést přes území Tibetu přiléhající k severní hranici Nepálu, a je tudíž významná i přeshraniční spolupráce při různých zásazích do krajiny a při managementu a ochraně území. Konektivita v rámci centrálního a východního (sikkimského) bloku jádrových území je na dobré úrovni, ale propojení mezi nimi je slabé, protože vypočtené koridory jsou pro pohyb levharta příliš dlouhé (McCarthy et al. 2005). Pro možnost komunikace mezi těmito populacemi je tedy nutné se zaměřit na zlepšení podmínek ve východním Nepálu, aby zde byla vytvořena další jádrová území, která by mohla posloužit jako tzv. nášlapné kameny (stepping stones) (Gutzwiller 2002).

8. Závěr

Prostředí velehorské části Nepálu je velmi dynamické jak z hlediska přírodních podmínek, tak vzhledem k vzrůstajícím lidským aktivitám. Ohrožený levhart sněžný se musí těmto změnám přizpůsobovat, přičemž člověk a jeho výtvoř mu při tom nezřídka překáží. Je proto důležité pochopit jeho nároky a na jejich základě přijmout opatření tak, aby k těmto konfliktům docházelo co nejméně. Sněžný levhart má navíc potenciál stát se tzv. deštníkovým druhem i pro ostatní ohrožené druhy v této biogeograficky velmi zajímavé oblasti. Jeho ochrana tedy může pomoci i celým tamějším ekosystémům.

Cílem této práce bylo identifikovat nejvhodnější oblasti v Nepálu pro výskyt levharta, popsat nároky na jeho habitat a zhodnotit možnost pohybu mezi jednotlivými klíčovými oblastmi. Z výsledků analýzy vyplývá, že vhodné oblasti tvoří úzký pás táhnoucí se přes celé území Nepálu. Takováto konfigurace je však velmi náchylná k fragmentaci, neboť toto pásmo může být snadno přetato například pozemní komunikací. Pro zachování dlouhodobě životaschopné populace je přitom nezbytné chránit nejen jádrové oblasti výskytu, ale i propojení mezi nimi. Je tedy nutné postupovat obezřetně při plánování nových staveb a jiných zásahů do krajiny.

V Nepálu se již díky přijatým ochranným opatřením podařilo propad počtu jedinců levharta alespoň zastavit (Jackson a Ale 2009), nicméně je třeba dále pokračovat v ochraně a studiu této stále ještě trochu tajemné kočkovité šelmy. Fungující opatření je nutné přenést i do ostatních zemí, na jejichž území se levhart sněžný vyskytuje. Jen tak bude možné zabezpečit přežití tohoto jedinečného druhu i do budoucna.

Použitá literatura

ARYAL, R. S. a G. RAJKARNIKAR. *Water Resources Of Nepal In The Context Of Global Climate Change: 2011* [online]. Kathmandu: Water and Energy Commission Secretariat [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.wecs.gov.np/uploaded/water-resource-climate-change.pdf>

BEIER, P., W. SPENCER, R. F. BALDWIN a B. H. MCRAE. Toward Best Practices for Developing Regional Connectivity Maps. *Conservation Biology* [online]. 2011, **25**(5), 879-892 [cit. 2016-05-05]. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01716.x. ISSN 08888892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2011.01716.x>

BUCKLIN, D. N., M. BASILLE, A. M. BENSCOTER, L. A. BRANDT, F. J. MAZZOTTI, S. S. ROMANACH, C. SPEROTERRA, J. I. WATLING a W. THUILLER. Comparing species distribution models constructed with different subsets of environmental predictors. *Diversity and Distributions* [online]. 2015, **21**(1), 23-35 [cit. 2016-04-01]. DOI: 10.1111/ddi.12247. ISSN 13669516. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/ddi.12247>

CUSHMAN, S. A., B. MCRAE, F. ADRIAENSEN, P. BEIER, M. SHIRLEY a K. ZELLER. Biological corridors and connectivity. *Key Topics in Conservation Biology* 2[online]. Oxford: John Wiley, 2013, 384 [cit. 2016-04-01]. DOI: 10.1002/9781118520178.ch21. ISBN 9781118520178. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118520178.ch21>

DANIEL, M., KALVODA, J. (ed.). *Himálaj*. 1. vyd. Praha: Academia, 1978. Nové obzory vědy.

DHAKAL, M., THAPA K., BHANDARI A. R. a R. CH. NEPAL. *Snow Leopard Conservation Action Plan for Nepal: 2005 - 2015 (Revised 2012)* [online]. Department of National Parks and Wildlife Conservation, 2013 [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: [http://www.snowleopardnetwork.org/actionplans/Nepal_Dhakal et al._2013.pdf](http://www.snowleopardnetwork.org/actionplans/Nepal_Dhakal_et_al._2013.pdf)

DONOVAN, T. M., M. FREEMAN, H. ABOUELEZZ, K. ROYAR, A. HOWARD a R. MICKEY. Quantifying home range habitat requirements for bobcats (*Lynx rufus*) in Vermont, USA. *Biological Conservation* [online]. 2011, **144**(12), 2799-2809 [cit.

2016-04-01]. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.06.026. ISSN 00063207. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320711002539>

Earthquake Hazards Program [online]. USGS [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://earthquake.usgs.gov/>

Eastern Himalayas Region: Ecosystem Profile [online]. Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF), 2005 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.cepf.net/Documents/final.ehimalayas.ep.pdf>

ELITH, J., C. H. GRAHAM, R. P. ANDERSON, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* [online]. 2006, **29**(2), 129-151 [cit. 2016-05-05]. DOI: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x. ISSN 09067590. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>

ELITH, J. a C. H. GRAHAM. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography* [online]. 2009, **32**(1), 66-77 [cit. 2016-04-04]. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2008.05505.x. ISSN 09067590. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0587.2008.05505.x>

FOX, J. L. *A Review Of The Status And Ecology Of The Snow Leopard (Panthera uncia)*. International Snow Leopard Trust, 1989.

GUISAN, A. a N. E. ZIMMERMANN. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* [online]. 2000, **135**(2-3), 147-186 [cit. 2016-04-01]. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9. ISSN 03043800. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380000003549>

GUTZWILLER, K. J. *Applying landscape ecology in biological conservation*. New York: Springer, c2002. ISBN 03-879-5322-1.

HIRZEL, A. H. a G. LE LAY. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology* [online]. 2008, **45**(5), 1372-1381 [cit. 2016-04-01]. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x. ISSN 00218901. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>

HUNTER, D. O. a R. JACKSON. (1997). A range-wide model of potential snow leopard habitat. s. 51-56 in: R. JACKSON a A. AHMAD. *Proceedings of the 8th International Snow Leopard Symposium, Islamabad, November 1995*. International Snow Leopard Trust, Seattle and WWF-Pakistan, Lahore.

Irbis. ZOO Liberec: *Zvířata* [online]. [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <http://www.zooliberec.cz/irbis.html>

JACKSON, R., MALLON, D., MCCARTHY, T., CHUNDAWAY, R.A. a B. HABIB. 2008. *Panthera uncia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T22732A9381126. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22732A9381126.en>.

JACKSON, R. M. a S. B. ALE. Snow Leopards: Is Reintroduction the Best Option? *Reintroduction of Top-Order Predators* [online]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2009, 164 [cit. 2016-03-09]. DOI: 10.1002/9781444312034.ch8. ISBN 9781444312034. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781444312034.ch8>

JACKSON, R., MALLON, D., MISHRA, CH., NORAS, S., SHARMA, R. a K. SURYAWANSHI. *Snow Leopard Survival Strategy: Revised Version 2014.1* [online]. Snow Leopard Network, 2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.snowleopardnetwork.org/docs/Snow_Leopard_Survival_Strategy_2014.1.pdf

KOTTEK, M., J. GRIESER, Ch. BECK, B. RUDOLF a F. RUBEL. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* [online]. 2006, **15**(3), 259-263 [cit. 2016-04-19]. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130. ISSN 09412948. Dostupné z: <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article>

MARZLUFF, J. M., J. J. MILLSPAUGH, P. HURVITZ a M. S. HANDCOCK. Relating resources to a probabilistic measure of space use: forest fragments and Steller's jays. *Ecology* [online]. 2004, **85**(5), 1411-1427 [cit. 2016-04-01]. DOI: 10.1890/03-0114. ISSN 0012-9658. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1890/03-0114>

MCCARTHY, Thomas M., Todd K. FULLER a Bariusha MUNKHTSOG. Movements and activities of snow leopards in Southwestern Mongolia. *Biological Conservation* [online]. 2005, **124**(4), 527-537 [cit. 2016-05-07]. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.03.003. ISSN 00063207. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320705001096>

Nepal National Biodiversity Strategy and Action Plan: 2014 - 2020 [online]. Government of Nepal, Ministry of Forests and Soil Conservation, 2014 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <https://www.cbd.int/doc/world/np/np-nbsap-v2-en.pdf>

Nepal Tourism Statistics: 2014 [online]. Government of Nepal, Ministry of Culture, Tourism & Civil Aviation, 2015 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: http://www.welcomenepal.com/wp-content/themes/welcomenepal/lds_download.php?download=/2016/01/Nepal_Tourism_Statistics_2014_Integrated.pdf

Snow Leopard. *WWF: Nepal* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.wwfnepal.org/what_we_do/wildlife_in_nepal/snow_leopard/

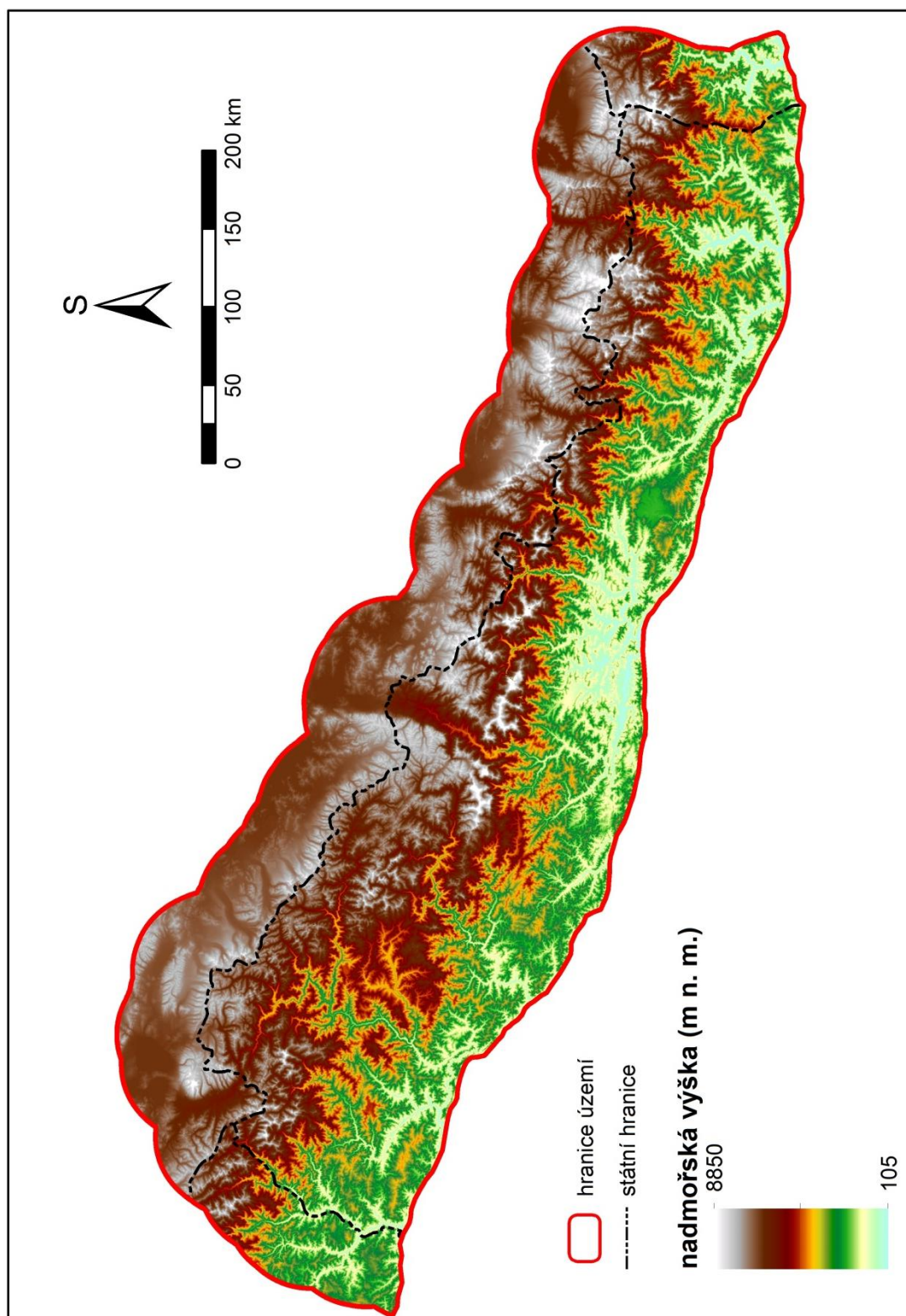
The World Factbook. *Central Intelligence Agency* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/np.html>

TOWNSEND, C. R., M. BEGON a J. L. HARPER. *Základy ekologie*. 1. české vyd. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2010. ISBN 978-80-244-2478-1.

Přílohy

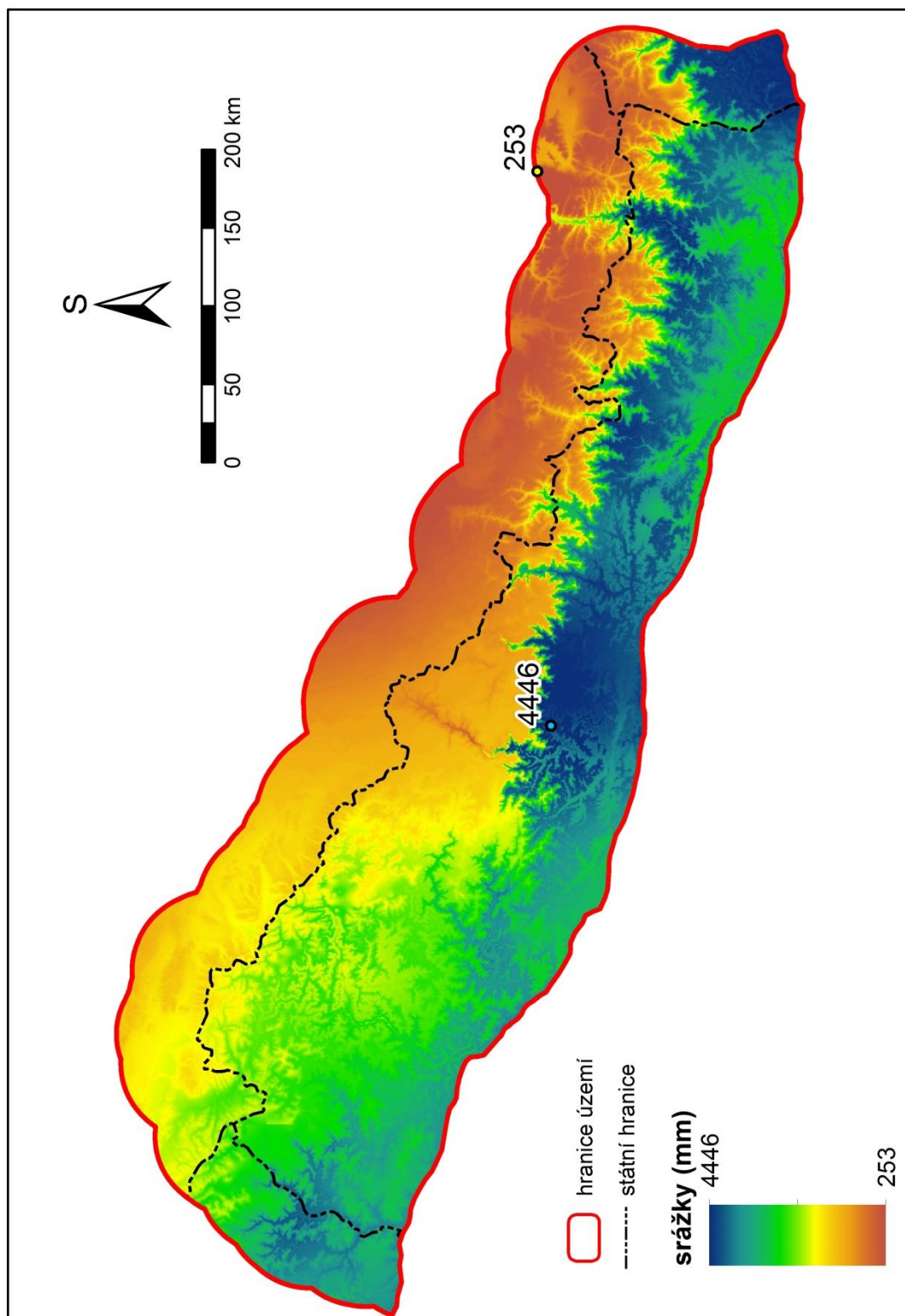
Příloha 1: Mapa nadmořských výšek v oblasti

Zdroj: SRTM



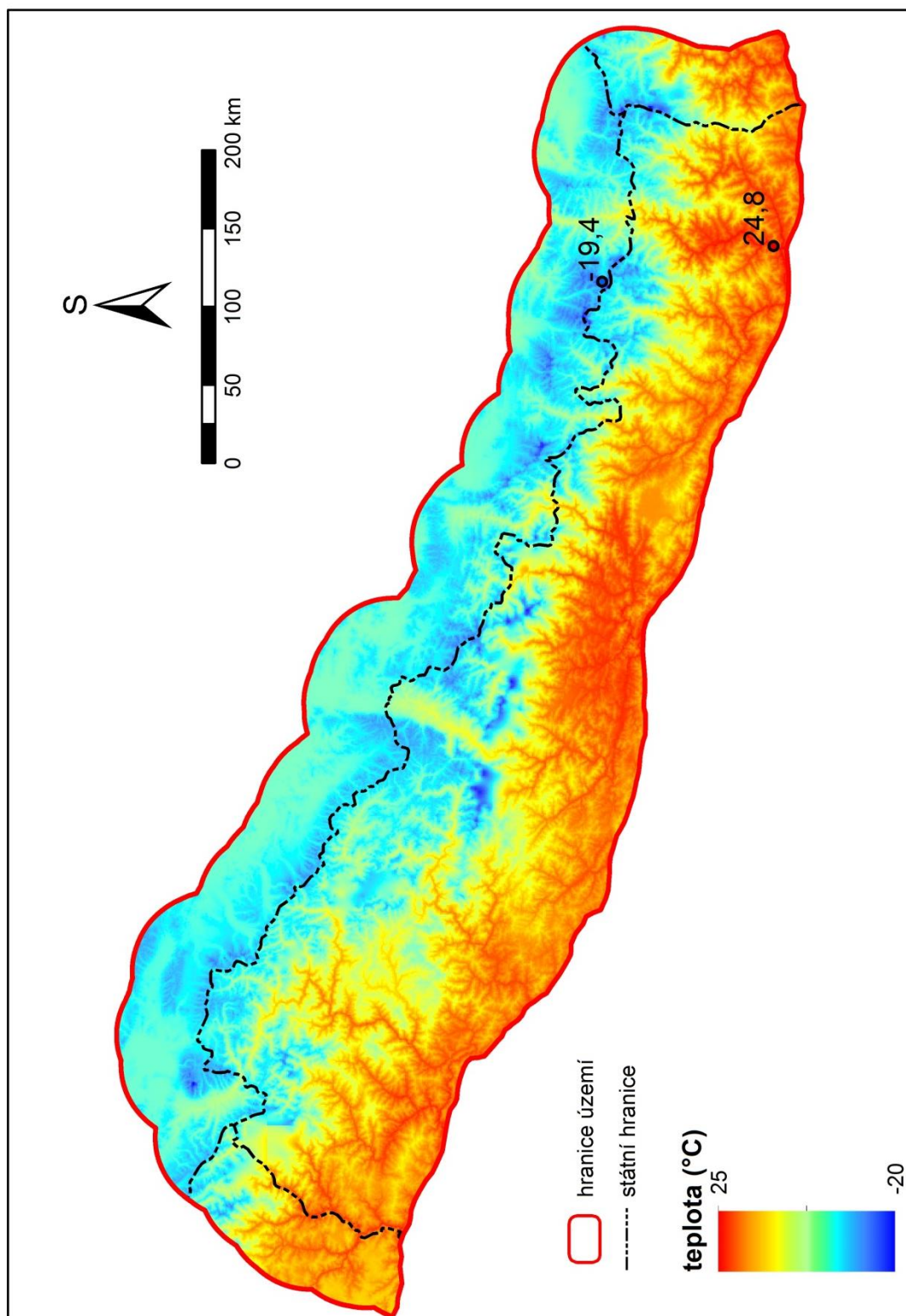
Příloha 2: Mapa průměrných ročních srážek v oblasti

Zdroj: WorldClim



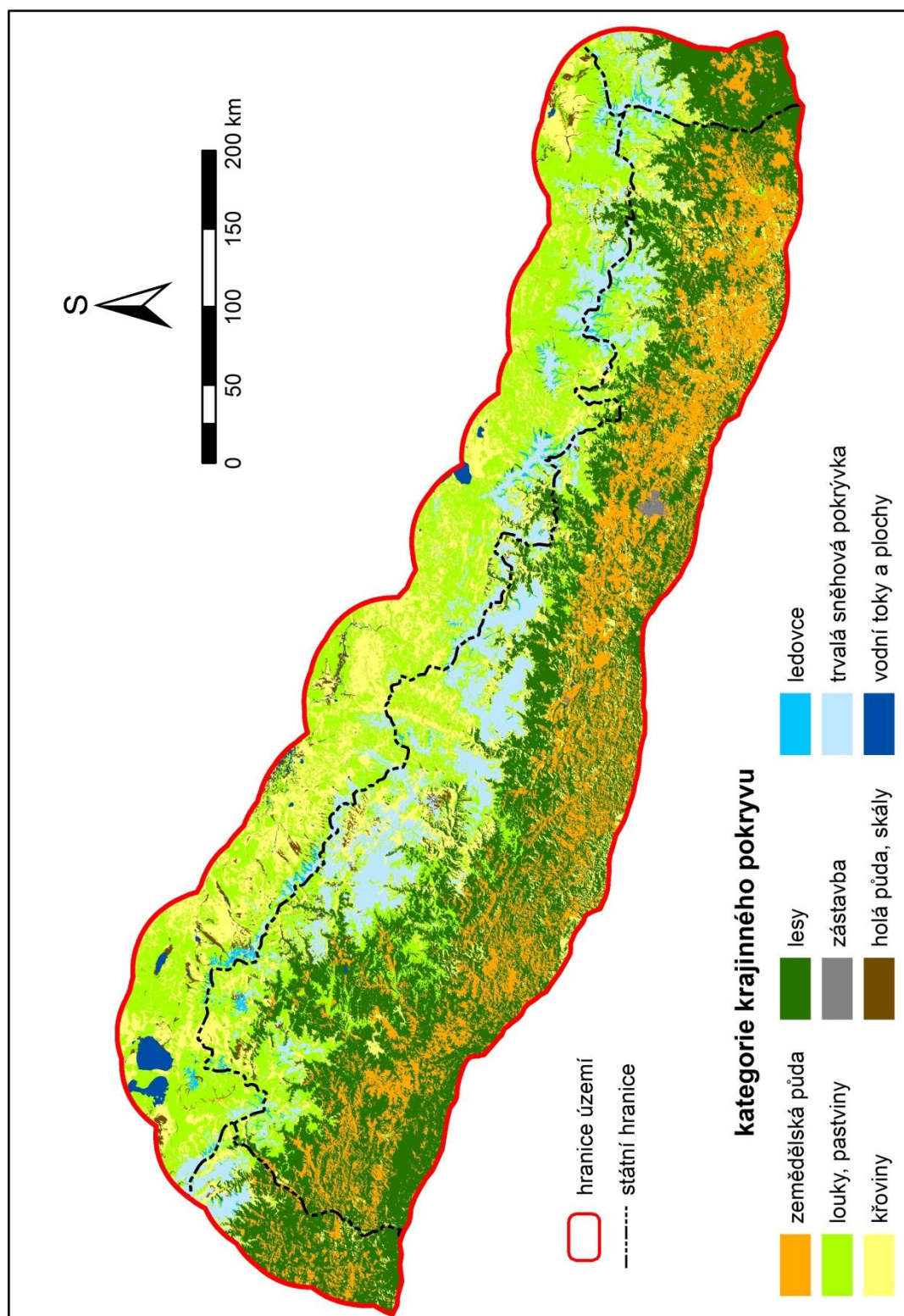
Příloha 3: Mapa průměrné roční teploty v oblasti

Zdroj: WorldClim

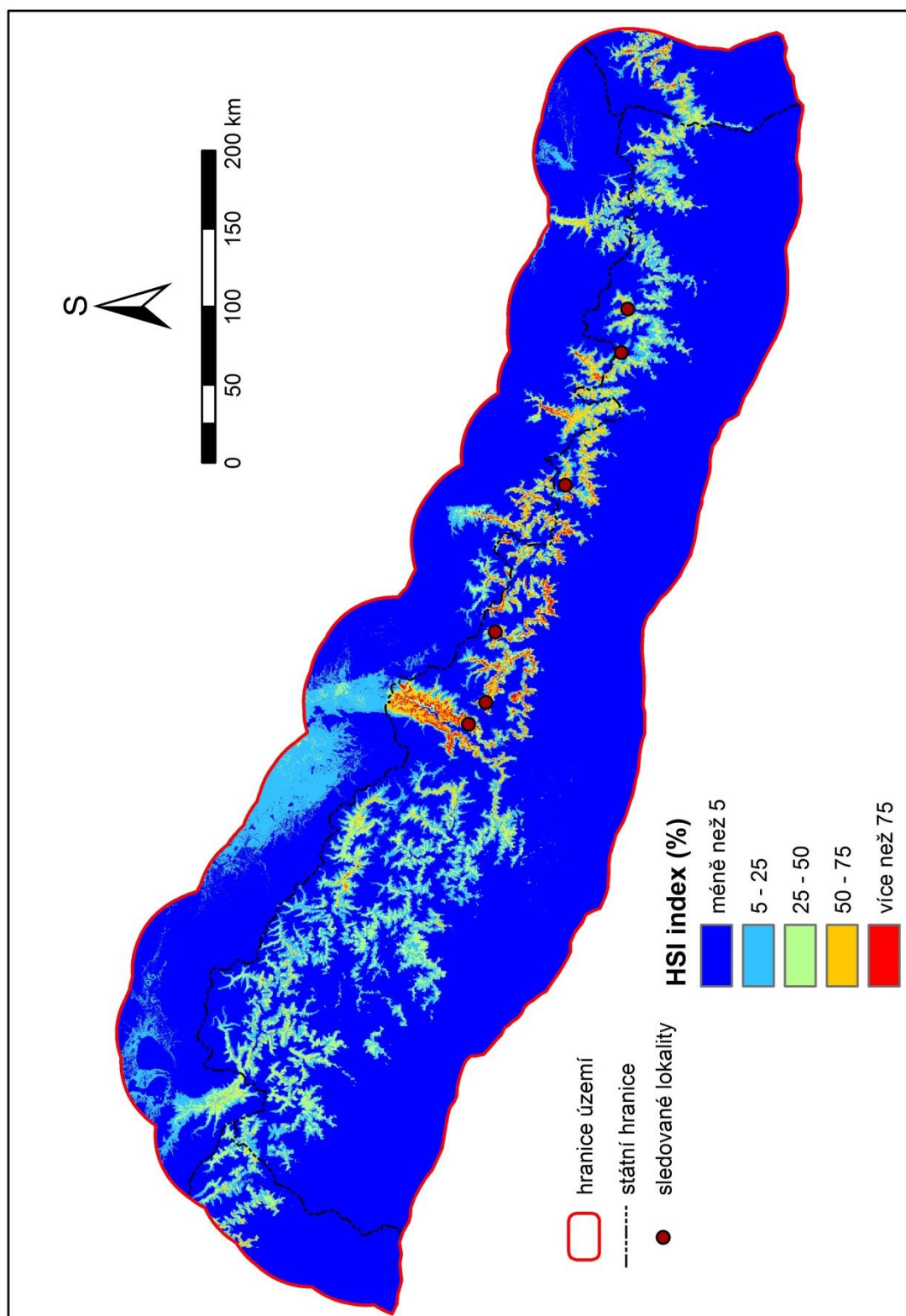


Příloha 4: Mapa krajinného pokryvu v oblasti

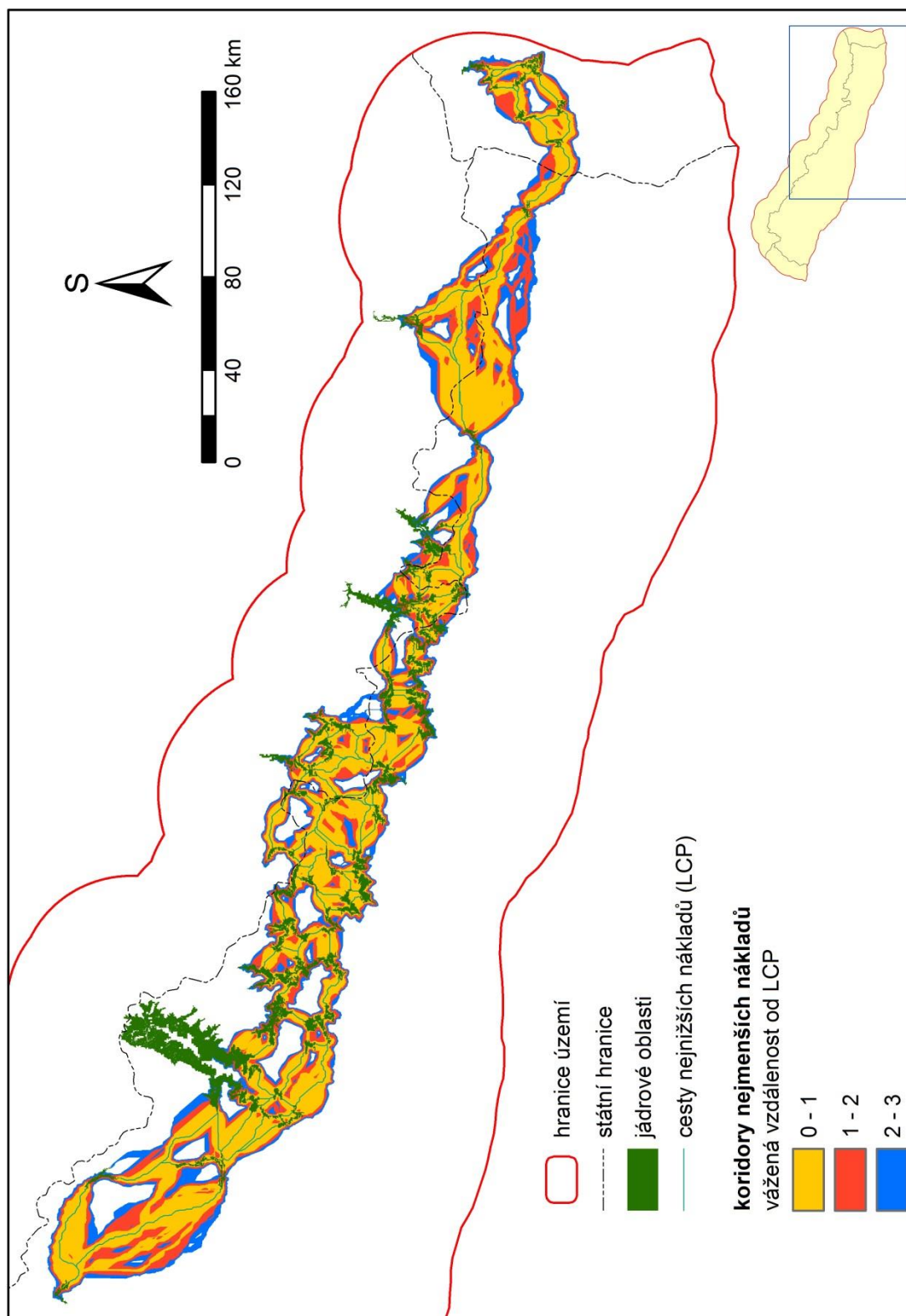
Zdroj: FAO Global Land Cover Network



Příloha 5: Index HSI pro levharta sněžného



Příloha 6: Migrační koridory nejmenších nákladů



Příloha 7: Délka a prostupnost cest nejmenších nákladů

